



E.T.S.I.S. TELECOMUNICACIÓN

## PROYECTO FIN DE CARRERA PLAN 2000

**TEMA:** Laboratorio remoto en el área de la electrónica analógica accesible desde Internet

**TÍTULO:** Desarrollo de un sistema hardware modular que implemente los instrumentos de un laboratorio de electrónica

**AUTOR:** Miguel Barras Rodríguez

**TUTOR:** Sergio López Gregorio

**Vº Bº.**

**DEPARTAMENTO:** SEC

**Miembros del Tribunal Calificador:**

**PRESIDENTE:** Juana María Gutiérrez Arriola

**VOCAL:** Sergio López Gregorio

**VOCAL SECRETARIO:** Guillermo de Arcas Castro

**DIRECTOR:**

**Fecha de lectura:**

**Calificación:**

**El Secretario,**

### RESUMEN DEL PROYECTO:

En el aprendizaje de la electrónica resulta imprescindible realizar prácticas en el laboratorio. Para complementar el estudio por parte del alumno fuera del laboratorio resulta de interés disponer también de los equipos fuera de él, pero muchas veces no es posible disponer de los instrumentos necesarios para la realización de las prácticas con circuitos analógicos.

En este proyecto se muestra el desarrollo de un sistema hardware modular de bajo coste en el que se integran todos los equipos disponibles en un laboratorio de electrónica (fuente de alimentación, generador de funciones, multímetro y osciloscopio). Este sistema pretende ayudar a que los alumnos puedan completar el trabajo presencial en el laboratorio con horas no presenciales en casa.





UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y  
SISTEMAS DE TELECOMUNICACIÓN

PROYECTO FINAL DE CARRERA

*“Desarrollo de un sistema hardware modular que  
implemente los instrumentos de un laboratorio de  
electrónica”*

**Alumno:** Miguel Barras Rodríguez

**Tutor:** Sergio López Gregorio

Sistemas Electrónicos  
Madrid, Julio de 2014



## **AGRADECIMIENTOS**

Llegados a esta última etapa quiero agradecer a todos los que me han ayudado a cumplir el objetivo de terminar ya los que me han acompañado todos estos años.

En primer lugar agradeceré a mi familia. A mis padres, porque sin ellos no estaría donde estoy. A mi hermano, por intentar ayudarme aunque propusiera ideas irrealizables y descabelladas para este proyecto.

A todos los compañeros y amigos con lo que me he cruzado en estos años. A Carlos por las horas “ininterrumpidas” de estudio. A Roberto por pegarme siempre su buen humor. A David porque siempre que necesitaba ayuda, estaba ahí para ayudar. A Silvia, por esas clases doblando papel. Y agradecer a tantos otros, Rubén, Quique, Ricardo, Felipe, Jesús, Paul, Javier, y la lista sería interminable.

A mis amigos Guillermo, Laura y Marcos por aguantarme y ayudarme a sobrellevar este recorrido. Espero que todos mis intentos de explicarles algo de electrónica hayan servido de algo. Por lo menos, he terminado entendiéndoles a ellos cuando hablan de lo suyo.

También quiero hacer especial mención a mi tutor, Sergio López, por confiar en mí en la realización de este proyecto y darme la oportunidad de trabajar con él.



# Índice

Resumen .....	1
Abstract.....	3
1. INTRODUCCION, OBJETIVOS Y FASES .....	5
1.1 Introducción .....	7
1.2 Objetivos .....	7
1.3 Fases.....	9
2. ALTERNATIVAS A LOS INSTRUMENTOS DE LABORATORIO TRADICIONALES .....	11
2.1 Equipos de sobremesa.....	13
2.2 Equipos modulares y PXI.....	13
2.3 USBee Test Pod .....	15
2.3.1 USBee DX .....	15
2.3.2 USBee QX.....	16
2.4 NI myDAQ .....	18
2.5 VirtualBench.....	19
3. DISEÑO HARDWARE .....	21
3.1 Introducción .....	23
3.2 Placa base .....	25
3.2.1 Bloque de alimentación .....	25
3.2.2 Bloque de comunicaciones.....	32
3.2.3 Bloque de aislador de señales .....	39
3.2.4 Bloque conectores.....	50

<b>3.3 Módulo Fuente de Alimentación .....</b>	<b>52</b>
3.3.1 Bloque configuración tensión.....	53
3.3.2 Bloque de detector de cortocircuito.....	61
3.3.3 Bloque salidas de la fuente.....	64
<b>3.4 Módulo Generador de Señal.....</b>	<b>67</b>
3.4.1 Bloque Generador de funciones .....	68
3.4.2 Ajuste de la amplitud.....	75
3.4.3 Ajuste del <i>offset</i> .....	75
3.4.4 Procesamiento de la señal.....	76
<b>3.5 Módulo Multímetro .....</b>	<b>79</b>
3.5.1 Medida de tensión.....	79
3.5.2 Medida de corriente .....	82
3.5.3 Medida de resistencia y continuidad .....	83
3.5.4 Componentes utilizados en este módulo .....	84
<b>3.6 Módulo Osciloscopio .....</b>	<b>92</b>
3.6.1 Bloque Acondicionador de Señal .....	92
3.6.2 Bloque Conversor Analógico-Digital .....	93
3.6.3 Funcionamiento de la adquisición de datos .....	99
<b>4. DISEÑO SOFTWARE.....</b>	<b>101</b>
<b>4.1 Introducción al LabVIEW .....</b>	<b>103</b>
<b>4.2 Aplicación de control.....</b>	<b>104</b>
4.2.1 Módulo Principal .....	104
4.2.1.1 Librería XDIMAX SUB-20.....	108
4.2.1.2 Funcionamiento de la aplicación principal.....	113
4.2.2 Módulos de Equipos .....	114
4.2.2.1 Programa Fuente de Alimentación .....	118
4.2.2.2 Programa Multímetro.....	121
4.2.2.3 Programa Generador de Funciones .....	122
4.2.2.4 Programa Osciloscopio .....	125
4.2.2.4.1 Adquisición de datos .....	131
4.2.2.5 Otros programas utilizados .....	133



<b>5. MANUAL DE USUARIO .....</b>	<b>139</b>
<b>5.1. Introducción .....</b>	<b>141</b>
<b>5.2. Instalación del controlador hardware .....</b>	<b>141</b>
<b>5.3. Instalación de la aplicación LabVIEW .....</b>	<b>143</b>
<b>5.4. Manejo de la aplicación .....</b>	<b>146</b>
5.4.1. Programa principal "PFC.exe" .....	146
5.4.2 Fuente de Alimentación .....	147
5.4.3 Multímetro .....	149
5.4.4 Generador de Funciones .....	151
5.4.5 Osciloscopio .....	154
<b>6. PRESUPUESTO .....</b>	<b>159</b>
<b>7. CONCLUSIONES Y MEJORAS .....</b>	<b>165</b>
<b>7.1. Conclusiones .....</b>	<b>167</b>
<b>7.2. Mejoras .....</b>	<b>167</b>
7.2.1 Medidas de condensadores .....	167
7.2.2 Salida de calibración en el osciloscopio .....	168
7.2.3 Salida de hasta 6V en la fuente de alimentación .....	169
7.2.4 Intercambio de las placas de los equipos .....	169
7.2.5 Diferentes paneles frontales .....	170
<b>8. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>171</b>
<b>8.1. Documentos .....</b>	<b>173</b>
<b>8.2. Enlaces Web .....</b>	<b>174</b>
<b>ANEXO I DISEÑOS ORCAD CAPTURE .....</b>	<b>175</b>
<b>ANEXO II DISEÑOS ORCAD LAYOUT .....</b>	<b>191</b>

# **Índice de Figuras**

Figura 1.1: Sistema completo .....	8
Figura 2.1: Multímetro digital de Agilent.....	14
Figura 2.2: Chasis PXI .....	14
Figura 2.3: Dispositivo USBee DX .....	15
Figura 2.4: Dispositivo USBee QX.....	16
Figura 2.5: Dispositivo myDAQ.....	18
Figura 2.6: Equipo y aplicación de VirtualBench.....	19
Figura 3.1: Foto del sistema completo.....	23
Figura 3.2: Distribución en la placa base.....	25
Figura 3.3: Diagrama de bloques del bloque alimentación .....	26
Figura 3.4: Diagrama de bloques TL2575.....	27
Figura 3.5: Esquemático de la configuración de los TL2575 .....	27
Figura 3.6: Gráfica de elección del inductor según la corriente de carga máxima....	29
Figura 3.7: Configuración y apariencia del PTN78000 .....	31
Figura 3.8: Regulador lineal 7905.....	31
Figura 3.9: Bloque comunicaciones.....	32
Figura 3.10: Tarjeta SUB-20 .....	32
Figura 3.11: Esquemático bloque comunicaciones.....	36
Figura 3.12: Diagrama de bloques PCA9555 .....	37
Figura 3.13: Dirección I2C esclava PCA9555.....	37
Figura 3.14: Trama I2C PCA9555.....	38
Figura 3.15: Esquemático expansor PCA9555 .....	39
Figura 3.16: Bloque aislador señales digitales.....	40
Figura 3.17: Esquema interno de los opto-acopladores CNY74-2H/4H.....	40
Figura 3.18: Esquema eléctrico aislamiento señales expansor .....	41
Figura 3.19: Corriente de led Vs Corriente Colector-Emisor y Tensión de led .....	42
Figura 3.20: Arrays de resistencias DIP y SIL.....	42
Figura 3.21: Esquemático aislamiento señales expansor .....	43
Figura 3.22: Esquemático aislamiento señales GPIO.....	44

Figura 3.23: Esquema eléctrico señales de lectura .....	44
Figura 3.24: Esquemático aislamiento señales de lectura .....	45
Figura 3.25: Aisladores SPI .....	46
Figura 3.26: Esquemático aislamiento bus SPI .....	46
Figura 3.27: Aislador ADuM1250 .....	47
Figura 3.28: Aplicación típica ADuM1250 .....	47
Figura 3.29: Esquemático aislador I2C .....	48
Figura 3.30: Diagrama de bloques PCA9516 .....	49
Figura 3.31: Líneas de selección I2C .....	49
Figura 3.32: Esquemático PCA9516 .....	50
Figura 3.33: Esquemático conectores .....	51
Figura 3.34: Diagrama de bloques del módulo Fuente de Alimentación .....	52
Figura 3.35: DAC MCP4728 .....	54
Figura 3.36: Configuración de dirección del MCP4728 .....	54
Figura 3.37: Configuración tensión de referencia MCP4728 .....	55
Figura 3.38: Escritura rápida en los registros MCP4728 .....	57
Figura 3.39: Escritura individual en un registro MCP4728 .....	57
Figura 3.40: Driver OPA547 .....	58
Figura 3.41: Ajuste corriente salida máxima OPA547 .....	59
Figura 3.42: Amplificador doble TL072 .....	60
Figura 3.43: Amplificadores inversores para configuración corriente salida .....	61
Figura 3.44: Diagrama detector de cortocircuito .....	62
Figura 3.45: Esquemático referencia de tensión de 50mV .....	62
Figura 3.46: Esquemático comparador LM311 Fuente 1 .....	63
Figura 3.47: Detector de ventana con dos LM311 Fuente 2 .....	63
Figura 3.48: Esquemático salidas Fuente de Alimentación .....	64
Figura 3.49: Conexiones internas relé G6E-SPDT .....	65
Figura 3.50: Esquemático activación relé .....	65
Figura 3.51: Diagrama de bloques Generador de Funciones .....	67
Figura 3.52: Diagrama de bloques y pines del XR2206 .....	68
Figura 3.53: Detalle ajuste frecuencia señal sinusoidal y triangular .....	69
Figura 3.54: Multiplexador ADG1408 .....	70
Figura 3.55: Esquemático multiplexador ADG1408 .....	72
Figura 3.56: Diagrama de bloques potenciómetro AD5254 .....	72

Figura 3.57: Regulador ajustable KA317 .....	73
Figura 3.58: Regulador ajustable KA337 .....	74
Figura 3.59: Amplificadores para Ganancia .....	75
Figura 3.60: Ajuste de offset .....	76
Figura 3.61: Evolución de la señal Generador de Funciones .....	77
Figura 3.62: Amplificador cuádruple TL074 .....	78
Figura 3.63: Diagrama de bloques del multímetro .....	79
Figura 3.64: Entrada medida tensión Multímetro .....	80
Figura 3.65: Esquemático medida de tensión o corriente .....	81
Figura 3.66: Esquemático amplificador de instrumentación.....	82
Figura 3.67: Esquemático fuente de corriente .....	83
Figura 3.68. Esquemático medida resistencia/continuidad .....	84
Figura 3.69: Conexiones internas del relé DPDT.....	84
Figura 3.70: Amplificador de instrumentación INA217 .....	86
Figura 3.71: Corrección de error de offset .....	87
Figura 3.72: Diagrama de bloques potenciómetro AD5290 .....	87
Figura 3.73: Diagrama de bloques AD536 .....	88
Figura 3.74: Esquemático conversor RMS a DC AD536.....	89
Figura 3.75: Diagrama de bloques del conversor ADC122S625.....	90
Figura 3.76: Esquemático ADC122S625 .....	90
Figura 3.77: Diagrama de bloques Módulo Osciloscopio.....	92
Figura 3.78: Esquemático entrada canal 1 módulo Osciloscopio .....	93
Figura 3.79: Esquemático potenciómetro AD5290.....	93
Figura 3.80: Diagrama de bloques ADS7822.....	94
Figura 3.81: Esquemático ADS7822.....	94
Figura 3.82: Diagrama de bloques SN74V245 .....	96
Figura 3.83: Cronograma reset y configuración SN74V245.....	97
Figura 3.84: Esquemático memoria FIFO SN74V245.....	98
Figura 3.85: Esquemático regulador LM1117 .....	98
 Figura 4.1: Ejemplo de programa LabVIEW .....	 103
Figura 4.2: Panel frontal programa principal.....	105
Figura 4.3: Diagrama de flujo del programa principal .....	106
Figura 4.4: Diagrama de bloques del programa principal .....	107

Figura 4.5: Driver SUB-20: Initialise.vi.....	108
Figura 4.6: Driver SUB-20: GPIO_config_set.vi .....	108
Figura 4.7: Driver SUB-20: GPIO_write.vi .....	109
Figura 4.8: Driver SUB-20: GPIO_read.vi .....	109
Figura 4.9: Driver SUB-20: I2C_frequency_set.vi.....	110
Figura 4.10: Driver SUB-20: I2C_write.vi .....	110
Figura 4.11: Driver SUB-20: SPI_config_set.vi.....	111
Figura 4.12: Driver SUB-20: SPI_write.vi .....	111
Figura 4.13: Driver SUB-20: SPI_read.vi.....	112
Figura 4.14: Driver SUB-20: Close.vi .....	112
Figura 4.15: Mensaje de confirmación de salir .....	114
Figura 4.16: Ejemplo de diagrama de bloques de un equipo .....	115
Figura 4.17: Panel frontal del programa Fuente de Alimentación.....	118
Figura 4.18: Panel frontal del programa Multímetro .....	121
Figura 4.19: Panel frontal del programa Generador de Funciones.....	123
Figura 4.20: Panel frontal del programa Osciloscopio.....	126
Figura 4.21: VIs de medidas.....	128
Figura 4.22: Adquisición en modo continuo.....	132
Figura 4.23: Subprograma Gestion_errores.....	133
Figura 4.24: Subprograma Encolar SUB-20.....	134
Figura 4.25: Subprograma Escribir I2C .....	135
Figura 4.26: Subprograma Dibujar_OSC .....	136
Figura 4.27: Subprograma Trigger .....	137
Figura 5.1: Ventana de instalación software SUB-20 .....	141
Figura 5.2: Ventana de final de instalación software SUB-20.....	142
Figura 5.3: Ventana de instalación controlador SUB-20.....	142
Figura 5.4: Ventana de Windows para instalar la aplicación .....	143
Figura 5.5: Ventana del asistente de instalación aplicación de control.....	144
Figura 5.6: Ventana de elección directorio destino de la instalación .....	144
Figura 5.7: Ventana de componentes que se instalan.....	145
Figura 5.8: Ventana del progreso de la instalación.....	145
Figura 5.9: Ventana final de la instalación .....	146
Figura 5.10: Interfaz de la aplicación de control .....	146

Figura 5.11: Ventana de error por falta de conexión el equipo al ordenador.....	147
Figura 5.12: Interfaz de la Fuente de Alimentación.....	148
Figura 5.13: Interfaz del Multímetro .....	150
Figura 5.14: Interfaz del Generador de Funciones .....	151
Figura 5.15: Interfaz del Osciloscopio.....	154
 Figura 7.1: Configuración <i>timer</i> NE555.....	 168

# Índice de Tablas

Tabla 3.1: Líneas del conector SPI.....	34
Tabla 3.2: Líneas del conector GPIO.....	35
Tabla 3.3: Comandos I2C PCA9555.....	38
Tabla 3.4: Características eléctricas CNY74-2H/4H .....	41
Tabla 3.5: Características eléctricas relé G6E-134P .....	65
Tabla 3.6: Características eléctricas del transistor BC547C.....	66
Tabla 3.7: Tabla de verdad multiplexador ADG1408.....	71
Tabla 3.8: Valores de condensadores y su rango de frecuencia .....	71
Tabla 3.9: Función de cada potenciómetro digital AD5254.....	73
Tabla 3.10: Configuración de medida resistencia .....	83
Tabla 3.11: Características eléctricas del relé DPDT.....	85
Tabla 3.12: Ganancia del INA217 según rango de medida .....	88
Tabla 4.1: Valores del acondicionador del Osciloscopio.....	130
Tabla 4.2: Valores frecuencia muestreo Osciloscopio .....	131
Tabla 6.1: Coste componentes Placa Base.....	161
Tabla 6.2: Coste componentes Fuente de Alimentación.....	162
Tabla 6.3: Coste componentes Multímetro .....	162
Tabla 6.4: Coste componentes Generador de Funciones .....	163
Tabla 6.5: Coste componentes Osciloscopio.....	163
Tabla 6.6: Coste ingeniería.....	164
Tabla 6.7: Coste total.....	164





## **Resumen**

El poder disponer de la instrumentación y los equipos electrónicos resulta vital en el diseño de circuitos analógicos. Permiten realizar las pruebas necesarias y el estudio para el buen funcionamiento de estos circuitos. Los equipos se pueden diferenciar en instrumentos de excitación, los que proporcionan las señales al circuito, y en instrumentos de medida, los que miden las señales generadas por el circuito.

Estos equipos sirven de gran ayuda pero a su vez tienen un precio elevado lo que impide en muchos casos disponer de ellos. Por esta principal desventaja, se hace necesario conseguir un dispositivo de bajo coste que sustituya de alguna manera a los equipos reales.

Si el instrumento es de medida, este sistema de bajo coste puede ser implementado mediante un equipo hardware encargado de adquirir los datos y una aplicación ejecutándose en un ordenador donde analizarlos y presentarlos en la pantalla. En el caso de que el instrumento sea de excitación, el único cometido del sistema hardware es el de proporcionar las señales cuya configuración ha enviado el ordenador. En un equipo real, es el propio equipo el que debe realizar todas esas acciones: adquisición, procesamiento y presentación de los datos.

Además, la dificultad de realizar modificaciones o ampliaciones de las funcionalidades en un instrumento tradicional con respecto a una aplicación de queda patente. Debido a que un instrumento tradicional es un sistema cerrado y uno cuya configuración o procesamiento de datos es hecho por una aplicación, algunas de las modificaciones serían realizables modificando simplemente el software del programa de control, por lo que el coste de las modificaciones sería menor.

En este proyecto se pretende implementar un sistema hardware que tenga las características y realice las funciones del equipamiento real que se pueda encontrar en un laboratorio de electrónica. También el desarrollo de una aplicación encargada del control y el análisis de las señales adquiridas, cuya interfaz gráfica se asemeje a la de los equipos reales para facilitar su uso.



## **Abstract**

The instrumentation and electronic equipment are vital for the design of analogue circuits. They enable to perform the necessary testing and study for the proper functioning of these circuits. The devices can be classified into the following categories: excitation instruments, which transmit the signals to the circuit, and measuring instruments, those in charge of measuring the signals produced by the circuit.

This equipment is considerably helpful, however, its high price often makes it hardly accessible. For this reason, low price equipment is needed in order to replace real devices.

If the instrument is measuring, this low cost system can be implemented by hardware equipment to acquire the data and running on a computer where analyzing and present on the screen application. In case of an excitation the instrument, the only task of the hardware system is to provide signals which sent the computer configuration. In a real instrument, is the instrument itself that must perform all these actions: acquisition, processing and presentation of data.

Moreover, the difficulty of making changes or additions to the features in traditional devices with respect to an application running on a computer is evident. This is due to the fact that a traditional instrument is a closed system and its configuration or data processing is made by an application. Therefore, certain changes can be made just by modifying the control program software. Consequently, the cost of these modifications is lower.

This project aims to implement a hardware system with the same features and functions of any real device, available in an electronics laboratory. Besides, it aims to develop an application for the monitoring and analysis of acquired signals. This application is provided with a graphic interface resembling those of real devices in order to facilitate its use.



# 1. ■ INTRODUCCION, OBJETIVOS Y FASES

---



## 1.1 Introducción

En la realización de cualquier circuito electrónico se hace indispensable el uso del equipamiento necesario para poder llevar a cabo las pruebas y medidas precisas con el fin de comprobar el buen funcionamiento de dicho circuito. Estos equipos son utilizados tanto por diseñadores expertos en hardware o por empresas dedicadas al desarrollo de tecnología en el ámbito de la electrónica como por alumnos de instituciones educativas o aficionados a la electrónica.

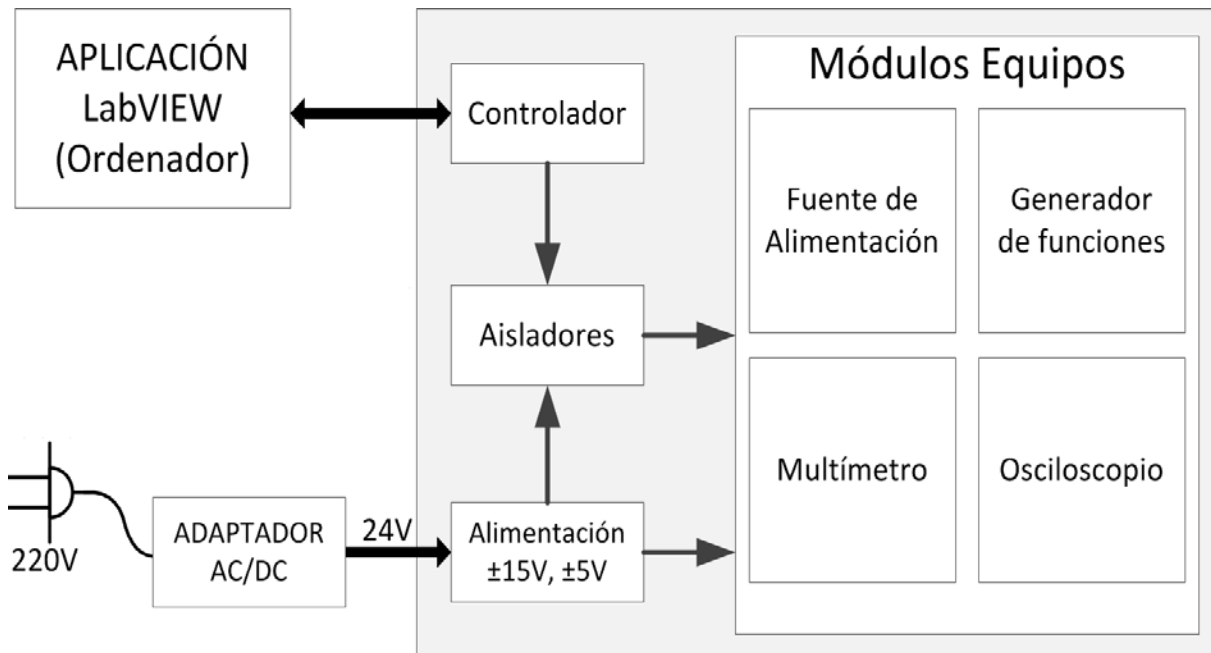
El alto coste de algunos de estos equipos hace prácticamente inviable el poder trabajar en actividades relacionadas con la electrónica a alumnos desde algún lugar que no sea en el laboratorio docente. También, el aprendizaje del manejo de estos equipos puede resultar complicado, sobre todo cuando la explicación de las funciones de estos equipos se realiza sin el propio equipo delante.

Desarrollar un solo dispositivo hardware que integre las principales funciones de los instrumentos necesarios en un puesto de laboratorio completo que sea fácilmente manejable y una aplicación software también fácil de controlar, hará que el aprendizaje sea más rápido y el poder trabajar desde cualquier sitio mucho más fácil.

## 1.2 Objetivos

El objetivo principal de este proyecto consiste en el diseño de un sistema hardware y de su aplicación de control que implementará el funcionamiento de los equipos disponibles en un laboratorio de electrónica. La aplicación de control presentará unos paneles frontales parecidos a los que tienen los instrumentos tradicionales.

La Figura 1.1 muestra el diagrama de bloques del sistema completo formado por la aplicación, que se desarrollará con el programa LabVIEW, y el dispositivo hardware:



**Figura 1.1: Sistema completo**

Las especificaciones del sistema hardware modular son las siguientes:

- Alimentación externa a través de adaptador AC/DC a 24V.
- Control a través de bus USB.
- Capacidad de generación señales: sinusoidal, cuadrada y triangular.
- Capacidad de proporcionar señales de alimentación de hasta  $\pm 12V$ .
- Capacidad de medir valores de resistencias y de tensiones y corrientes de señales analógicas.
- Capacidad de visualizar en función del tiempo la variación de la tensión de señales analógicas.

Las especificaciones del software son las siguientes:

- Diseño modular de la aplicación.
- Interfaz de usuario mediante ventanas. Cada ventana gestionará la funcionalidad de cada instrumento (multímetro, generador de funciones,...)



## 1.3 Fases

Para cumplir los objetivos anteriores, se planificaron las siguientes fases:

### 1. Diseño y montaje de las placas

Realización de los diseños de cada módulo hardware, elección de los componentes utilizados finalmente y montaje en las PCBs. Tanto para el diseño de los esquemáticos como de las PCBs se utilizó la herramienta OrCAD de la empresa Cadence.

### 2. Pruebas hardware

Finalizado el montaje de todos los módulos, se realizaron las pruebas necesarias para verificar el funcionamiento independiente de cada uno de los módulos.

### 3. Programación de la aplicación

Desarrollo del código necesario para completar la aplicación que controla todo el sistema hardware. Esta aplicación se implementó con la herramienta LabVIEW de National Instruments.

### 4. Pruebas finales

Integración y puesta en marcha de todo el sistema realizando los ajustes necesarios para conseguir cumplir las prestaciones exigidas a cada instrumento.



## 2. ALTERNATIVAS A LOS INSTRUMENTOS DE LABORATORIO TRADICIONALES

---



## 2.1 Equipos de sobremesa

Aunque en este capítulo se informen de alternativas a los equipos de sobremesa primero se va a explicar un poco sobre estos, indicando ventajas e inconvenientes.

Como existen en el mercado gran variedad de modelos de los diferentes equipos no se va a detallar las características de cada uno de ellos. Para las ventajas e inconvenientes de cada equipo se va a tomar como referencia los equipos típicos de un laboratorio de electrónica.

Una de las principales ventajas de los equipos de sobremesa ya está dicha: la gran variedad de modelos que se existen. Debido a ello es posible encontrar el modelo de equipo que se adapte al propósito elegido.

El gran inconveniente de este tipo de equipos es su elevado precio. Aunque se pueden encontrar modelos de multímetros de mano a un precio asequible, el resto de equipos -generador de funciones, fuente de alimentación y, sobretodo, osciloscopio- tienen un precio bastante alto como para que alguien aficionado a la electrónica o un estudiante se pueda permitir tener uno propio.

## 2.2 Equipos modulares y PXI

Los equipos modulares son similares a los anteriores, la principal diferencia que reside en estos es que carecen de panel frontal de control o visualización. Pueden ir montados sobre un chasis aunque no es necesario para su manejo.

Al no disponer de panel frontal, el control y la configuración de ellos se tienen que realizar a través de un ordenador conectado a estos equipos mediante USB o LAN. Un ejemplo de un multímetro de un equipo de este tipo se muestra en la Figura 2.1

De este tipo de equipos también existen múltiples modelos, aunque más limitado que en el caso anterior y de precio también elevado.



**Figura 2.1: Multímetro digital de Agilent**

Dentro de estos equipos modulares se pueden distinguir los equipos PXI (ver Figura 2.2). Estos equipos sí necesitan de un chasis para poder ser controlados desde un ordenador. Además del chasis, que tiene que ser compatible con el estándar PXI.



**Figura 2.2: Chasis PXI**

El control de estos equipos se puede realizar a través de un ordenador mediante una tarjeta PCI o PCI Express y un módulo PXI o PXI Express en la ranura 1 del sistema PXI. También se pueden controlar mediante un controlador embebido sin necesidad de un ordenador externo, ya que estos controladores embebidos incluyen de CPU integrado, disco duro, memoria, USB y otros periféricos.

La solución de equipos PXI es útil para tener todos los equipos que se necesitan en un mismo chasis y poder controlarlos desde el ordenador a través de

un único dispositivo. Pero el principal inconveniente de estos módulos PXI, al igual que ocurría con los equipos anteriores y los de sobremesa, es su alto precio, más incluso que los anteriores. Además hay que añadir el precio del controlado y del chasis en sí.

## 2.3 USBee Test Pod

El USBee, según el modelo, permite disponer de osciloscopio, generador de señales, analizador de señales lógicas y decodificador de protocolos de buses (I2C, SPI, CAN, PS/2...) en un mismo dispositivo. Así los modelos más grandes y completos también disponen de opciones como Wi-Fi, voltímetro o generador de señales analógicas.

En total existen 6 modelos diferentes pero se van a analizar dos: el USBee DX (Figura 2.3) y el modelo más completo USBee QX (Figura 2.4). Existen modelos más pequeños que el USBee DX pero estos ni siquiera disponen de entradas ni salidas analógicas y su único cometido es de generador y analizador de señales digitales.

### 2.3.1 USBee DX



**Figura 2.3: Dispositivo USBee DX**

Las especificaciones de este modelo son:

- 16 entradas/salidas digitales de hasta 5V

- 2 canales de entrada analógicos de  $\pm 10V$ .
- 6MSPS de velocidad de muestreo utilizando todos los canales pudiendo ser superior si no se utilizan todos los canales. Por ejemplo, si solo se usan los dos analógicos el muestreo es a 12MSPS, llegando a un máximo de 24MSPS si se utilizan hasta 8 canales digitales.
- 200 millones de muestras de profundidad de *buffer*.
- ADC de 8 bit.

Con estas especificaciones, el USBee DX puede funcionar como osciloscopio, decodificador de protocolos (SDIO, USB, I2C, SPI, Async, CAN, I2S, SMBus, PS/2, serie, paralelo), generador de señales digitales, voltímetro digital, medidor de frecuencia.

Su precio es reducido y es un dispositivo pequeño pero resulta escaso para las necesidades que se buscan en un puesto de laboratorio al disponer de sólo osciloscopio y voltímetro.

### 2.3.2 USBee QX



Figura 2.4: Dispositivo USBee QX

Este modelo es más grande y más completo y por lo tanto más caro que el anterior. Las prestaciones incluyen las del modelo anterior y algunas otras más, siendo superior en todas sus especificaciones:

- Compatible con USB 3.0.



- Wi-Fi 802.11 b/g.
- 16 entradas digitales y 8 entradas/salidas digitales.
- 4 canales analógicos.
- 100MSPS de velocidad de muestreo y al igual que antes puede ser superior dependiendo de los canales utilizados.
- Profundidad de *buffer* de 896 millones de muestras totales, 32 millones por canal.
- Rango de tensión de entrada de  $\pm 60V$  tanto en las entradas analógicas como en las digitales.
- ADC cuádruple de 10 bits.

Con estas características hardware, las opciones que dispone el USBee QX son:

- Osciloscopio.
- Decodificador de protocolos (SDIO, USB, I2C, SPI, Async, CAN, I2S, SMBus, PS/2, serie, paralelo).
- Generador de señales analógicas sinusoidales, triangulares o cuadradas, de hasta 227kHz y rango de tensión desde 0 hasta 3V.
- Generador de señales digitales de hasta 100MSPS y 2.5V de amplitud.
- Voltímetro y frecuencímetro.

Al igual que ocurría con el otro módulo, es un dispositivo que ofrece pocas de las necesidades que se buscan con este proyecto para el precio que tiene. Sobre todo si se mira el generador de funciones y que no dispone de ninguna salida que pueda funcionar como fuente de alimentación.

Ambos modelos carecen de fuente de alimentación y sólo permiten medir tensión con el voltímetro. Sin embargo pueden ser un sustituto de un osciloscopio comercial.

## 2.4 NI myDAQ

myDAQ de National Instruments (Figura 2.5) es un dispositivo de adquisición de datos portátil y de bajo coste. En un mismo dispositivo incluye hasta ocho instrumentos definidos por software, incluyendo un generador de funciones, un osciloscopio, un multímetro digital y una fuente de alimentación. Además de estos equipos, al estar todo implementado por software también dispone de un analizador de frecuencias, un analizador de espectros, un generador de onda arbitraria y un módulo de lectura y escritura de señales digitales.



**Figura 2.5: Dispositivo myDAQ**

En cuanto a las entradas y salidas de las que dispone el myDAQ se encuentran:

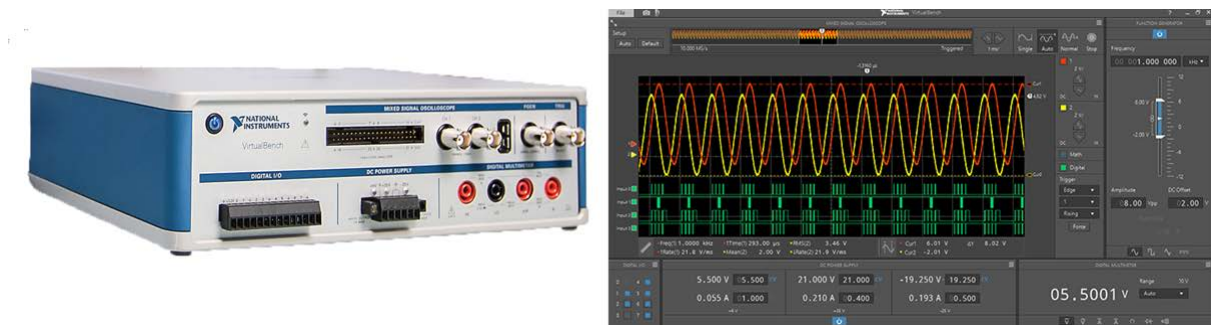
- Salidas fijas de +15V, -15V y +5V.
- Dos salidas analógicas de rango  $\pm 10\text{V}$  configurable mediante un DAC de 16 bits de resolución, frecuencia de actualización 200 KS/s y corriente máxima 2mA.
- Dos entradas analógicas diferenciales que desembocan en un ADC de 16 bits de resolución, muestreo de 200 KS/s y un rango de  $\pm 10\text{V}$ .
- Entrada y salida de audio en estéreo.
- Ocho entradas o salidas digitales compatibles con tecnología TTL.
- Entradas propias de un multímetro.

Como se puede observar tanto en los equipos que puede implementar como en las interfaces que tiene, es un instrumento muy completo a un precio más o menos

asequible. Otra ventaja, y a la vez inconveniente, es el estar alimentado única y exclusivamente mediante el USB conectado al ordenador. El inconveniente de esto es que la potencia proporcionada por el conjunto de las salidas y el consumo propio de los componentes propios del myDAQ no puede superar al máximo proporcionado por el USB. En las especificaciones técnicas se detalla que la potencia máxima que pueden suministrar tanto las salidas analógicas como las salidas de tensión fija es de 500mW.

## 2.5 VirtualBench

El dispositivo VirtualBench del fabricante National Instruments (Figura 2.6), de reciente aparición en el mercado, combina cinco instrumentos en un único equipo con posibilidad de integrarlo con ordenadores e iPads.



**Figura 2.6: Equipo y aplicación de VirtualBench**

Las posibilidades que ofrece son osciloscopio con analizador lógico, multímetro digital, generador de funciones, fuente de alimentación programable, y entradas/salidas digitales. Además de poseer conectividad USB y WiFi.

Las características más importantes de cada instrumento que integra son:

### Osciloscopio:

- 2 canales analógicos y 34 digitales.
- Ancho de banda de 100 MHz.
- Frecuencia de muestreo de hasta 1 GS/s.

- Opción de escoger entre 22 medidas.
- Capacidad de memoria de 1 millón de muestras.

#### Generador de funciones:

- Formas de onda sinusoidal, cuadrada, rampa, triangular o continua.
- Frecuencia máxima de 20 MHz sinusoidal o 5 MHz cuadrada.

#### Multímetro digital:

- Resolución de 5 dígitos y medio.
- Funciones de medida: tensión y corriente tanto continua como alterna, continuidad, resistencia y diodos.
- Voltaje de entrada máximo de 300 V.
- Corriente de entrada máxima de 10 A.

#### Fuente de alimentación:

- Tres canales de hasta 6 V, 25 V y -25 V.
- Corriente de salida máxima de cada uno de los canales 1 A para la de 6V y 500mA para los otros dos canales.

#### Entradas/salidas digitales:

- 8 canales configurables como entrada o salida.
- Niveles lógicos compatibles con LVTTTL de 5 V y 3.3 V.

A diferencia del dispositivo myDAQ del mismo fabricante que está alimentado solamente mediante USB, el VirtualBench está alimentado a la red eléctrica con lo que consigue tener más potencia en la fuente de alimentación que el myDAQ.

En cuanto al precio, es más caro que los mostrados con anterioridad. Puede parecer un equipo caro pero a pesar de ello es una buena solución a los instrumentos de laboratorio convencionales.

# 3. DISEÑO HARDWARE

---

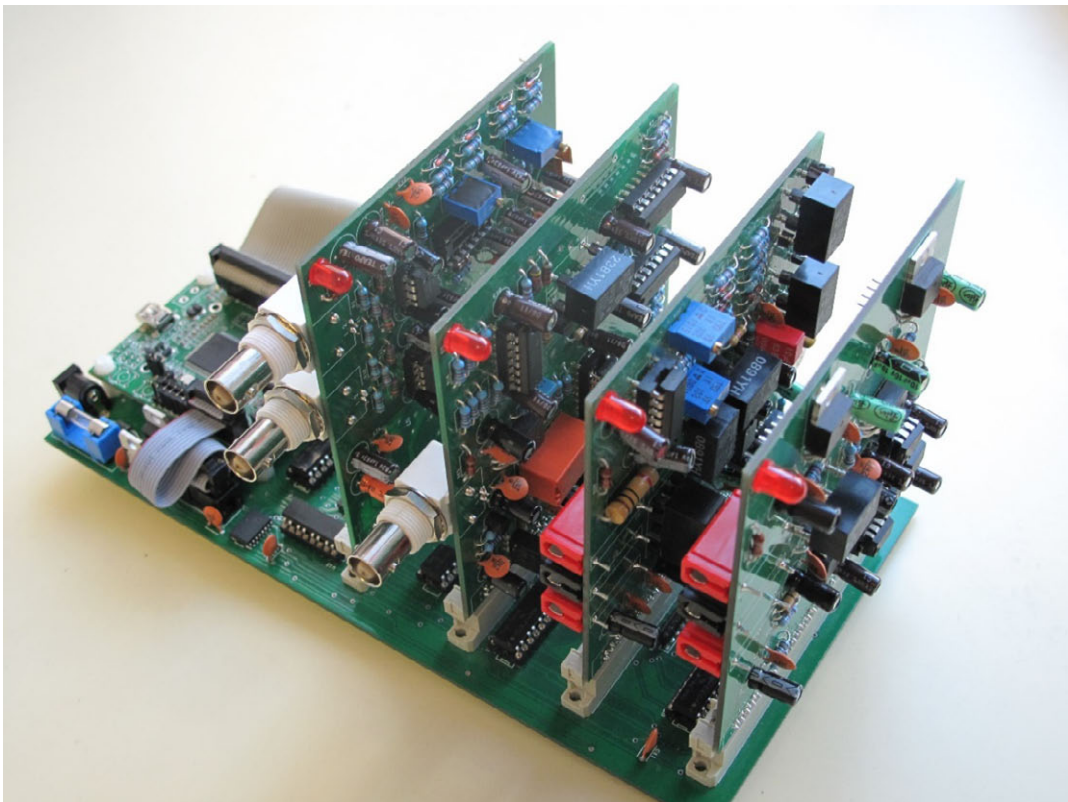


## 3.1 Introducción

El sistema está dividido en módulos según los instrumentos que se van a implementar, donde cada uno de ellos se corresponde con cada equipo de laboratorio más la placa base. De esta manera tenemos los siguientes módulos:

- Placa base
- Fuente de Alimentación
- Generador de Funciones
- Multímetro
- Osciloscopio

El sistema completo se muestra en la Figura 3.1.



**Figura 3.1: Foto del sistema completo**

En total, el sistema dispone de cuatro salidas y cinco entradas, todas ellas analógicas. De las entradas analógicas, tres son del módulo Fuente de Alimentación y una del módulo Generador de Funciones. Y de las salidas, tres del módulo Multímetro y dos del Osciloscopio.

Las especificaciones de cada módulo son las siguientes:

#### Bloque Fuente de Alimentación

- Rango de salida de 0 a 12 V y consumo hasta 300 mA.
- Dos modos de funcionamiento: independiente y simétrico.
- Limitación de corriente.
- Protección contra cortocircuitos.
- Tres salidas con conector hembra tipo banana.

#### Bloque Generador de Funciones

- Rango de frecuencia de 10 Hz a 100 kHz.
- Amplitud de señal de 10 V.
- Tensión de *offset* de  $\pm 5V$ .
- Formas de onda configurables: cuadrada, sinusoidal y triangular.
- Conector de salida tipo BNC.

#### Bloque Multímetro

- Rango de entrada de tensión de  $\pm 20 V$ .
- Rango de corriente de entrada de  $\pm 250 mA$ .
- Resolución de  $3\frac{1}{2}$  dígitos.
- Tipos de medidas: corriente, tensión, resistencia y continuidad.
- Impedancia de entrada de  $1 M\Omega$ .
- Protección contra sobre corriente.
- Tres entradas con conector hembra tipo banana.

#### Bloque Osciloscopio

- Dos canales de entrada de rango  $\pm 20 V$ .
- Impedancia de entrada de  $1 M\Omega$ .
- Dos entradas con conectores tipo BNC.



## 3.2 Placa base

Este módulo es clave en el funcionamiento del sistema y la que se encarga de las comunicaciones, alimentación y, también, sustento de los otros módulos.

Cada función de esta placa base se explicará de manera independiente. En la Figura 3.2 se muestra la manera en la que ésta se divide: bloque de alimentación, bloque de comunicación, bloque aislador de señales y bloque conectores.

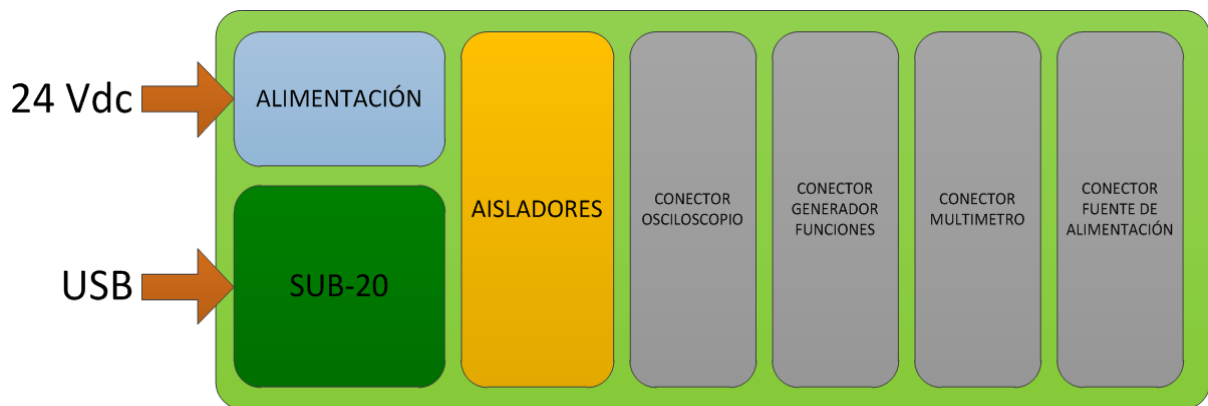
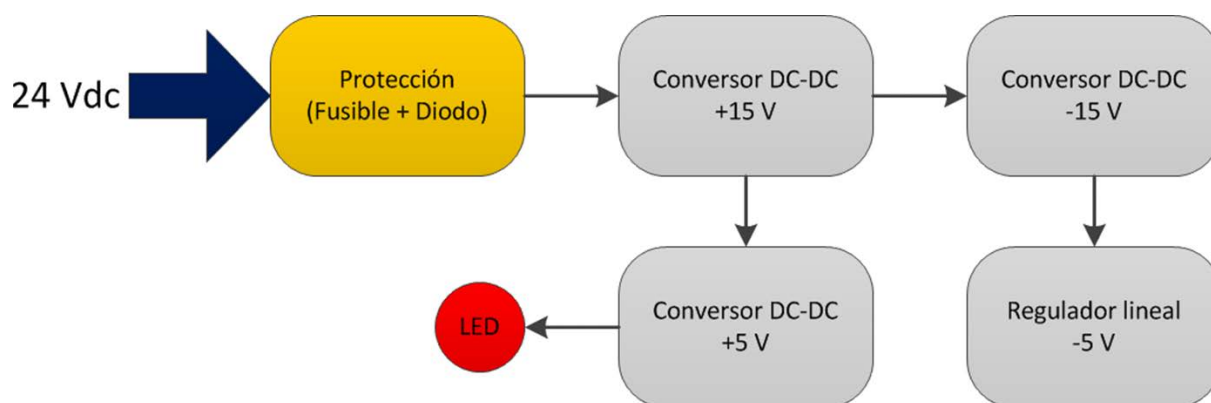


Figura 3.2: Distribución en la placa base

### 3.2.1 Bloque de alimentación

El bloque de alimentación genera las tensiones necesarias para el funcionamiento de los componentes del resto del sistema. El sistema completo se ha diseñado teniendo en cuenta que la alimentación es de 24V y un consumo máximo de 2,5A.

A partir de los 24V, este bloque suministra las tensiones que requieran todos los componentes usados en el resto de bloques ( $\pm 15V$ ,  $\pm 5V$ ). El diagrama de bloques de esta parte se muestra en la Figura 3.3.



**Figura 3.3: Diagrama de bloques del bloque alimentación**

En la entrada de la alimentación se ha incluido protecciones de sobre corriente (fusible) y de sobretensión (diodo).

Para convertir la tensión de entrada de 24V a las tensiones que genera este bloque se utilizarán un convertidor de tensión para las tensiones de +15V y +5V a partir de la entrada de 24V, un convertidor de tensión inversor para la tensión negativa de -15V a partir de la tensión de +15V y un regulador lineal para la tensión de -5V a partir de la tensión de -15V.

- Conversor de tensión TL2575ADJI

El convertidor TL2575ADJI del fabricante Texas Instruments (Figura 3.4) suministra una tensión entre 1.23V y 37V con un máximo de 1A a partir de un rango de tensiones de entrada desde 4.75V hasta los 40V. Con estas características iniciales cumple con los requisitos de alimentación y potencia que requiere el sistema completo.

Este componente también ofrece compensación de frecuencia interna, un oscilador de frecuencia fija, un limitador de corriente y una protección térmica. Además, dispone de la posibilidad de poder deshabilitar la salida.

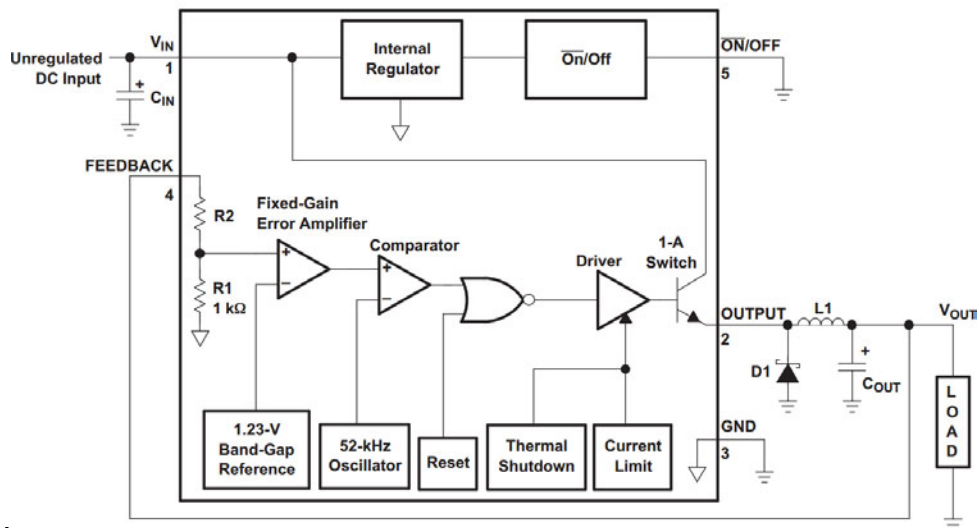


Figura 3.4: Diagrama de bloques TL2575

La utilización de un convertidor DC-DC representa una mejor alternativa a la utilización de un regulador lineal. Debido a su alta eficiencia, reduce la utilización de disipadores de calor grandes, incluso no siendo necesarios en muchos casos.

A continuación se explica el diseño de este bloque detallando los cálculos necesarios para la elección de los componentes, todo ello siguiendo los pasos descritos en la hoja de características del TL2575ADJI.

El valor de los componentes así como su configuración se muestra en el esquemático de la Figura 3.5.

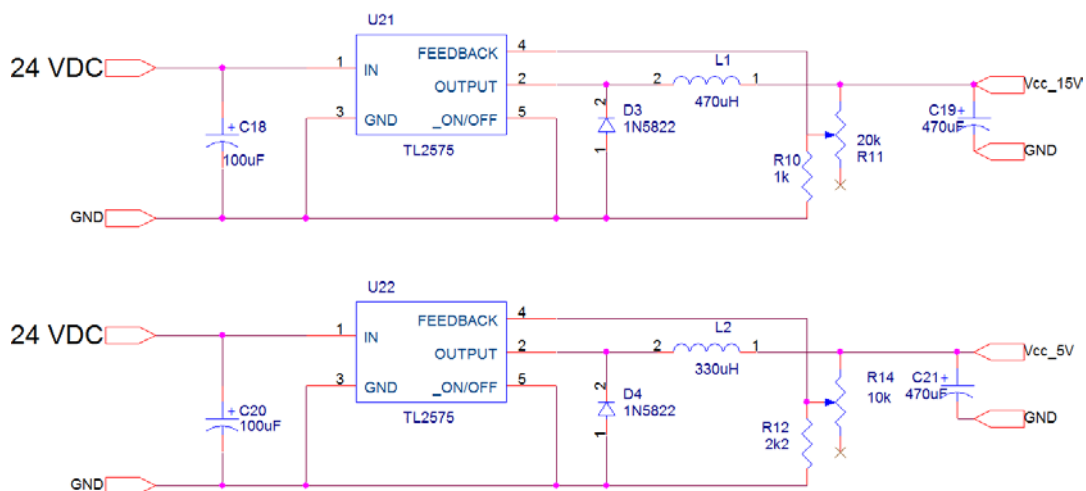


Figura 3.5: Esquemático de la configuración de los TL2575

A continuación se explica los pasos para el cálculo de los valores de los distintos componentes necesarios para alcanzar los valores de salida requeridos de +15V y +5V.

El primer paso es calcular el valor de las resistencias que conforman el divisor resistivo del bucle de realimentación. Según el valor que se elija a la salida se obtendrá una tensión u otra. Referente a la Figura 3.5,  $V_{OUT}$  es definida por:

$$V_{OUT} = V_{REF} \left( 1 + \frac{R_{11}}{R_{10}} \right)$$

$V_{OUT}$ : tensión de salida deseada. En este caso de 15V.

$V_{IN}$ : tensión de entrada. En este caso 24V.

$V_{REF}$ : tensión de referencia con valor 1,23V.

Se elige un valor para  $R_{10}$  comprendido entre 1k $\Omega$  y 5k $\Omega$  y acto seguido se calcula el valor de  $R_{11}$ .

$$R_{11} = R_{10} \left( \frac{V_{OUT}}{V_{REF}} - 1 \right) = 1000 \left( \frac{15}{1,23} - 1 \right) = 11,2k\Omega$$

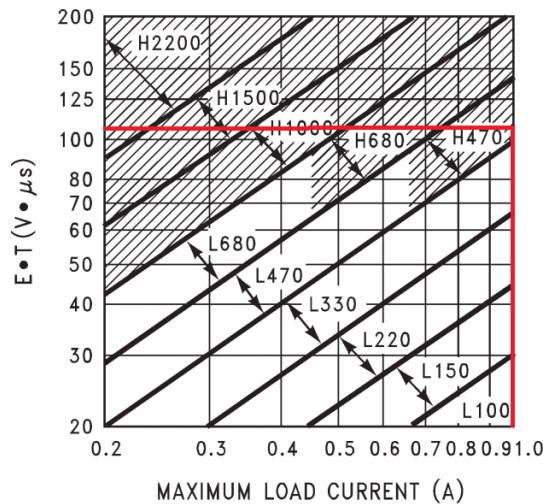
Para ajustar mejor el valor  $R_{11}$  se utilizará un potenciómetro de 20k $\Omega$ .

El siguiente paso es hallar el valor de la bobina pero primero se debe hallar el producto tensión-tiempo ( $E \times T$ ):

$$E \times T = (V_{IN} - V_{OUT}) \times t_{ON} = (V_{IN} - V_{OUT}) \times \left( \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} \right) \times \left( \frac{1000}{f_{OSC}(kHz)} \right) [V \times \mu s]$$

$f_{OSC}$ : frecuencia de conmutación del transistor FET interno. De las hojas características se saca el valor de 52kHz.

Resolviendo la fórmula se obtiene el resultado de 108,17 V $\times\mu$ s. Usando la gráfica de la Figura 3.6 se selecciona el valor de la bobina en la intersección de  $E \times T$  con la corriente de carga máxima (1A).



**Figura 3.6: Gráfica de elección del inductor según la corriente de carga máxima**

Según la gráfica anterior, el valor de la bobina que se necesita es de 470μH.

Para satisfacer los requerimientos de estabilidad a la salida, según las hojas de características el condensador de la salida debe cumplir lo siguiente:

$$C_{OUT} \geq 7785 \frac{V_{IN}}{V_{OUT} \times L(\mu H)}$$

Resolviendo sale un condensador de valor mayor o igual a 26, 5μF. Sin embargo, el condensador debe ser varias veces más grande que el valor calculado para conseguir un rizado en el voltaje de salida de aproximadamente  $0,01 \times V_{OUT}$ . Por ello se ha escogido un condensador de valor 470μF.

Para la elección del diodo se requiere que éste aguante al menos una corriente de  $1,2 \times I_{LOAD(MAX)}$ . Para hacer el diseño más robusto, el diodo debe ser capaz de soportar la máxima corriente de pico del TL2575ADJ1. También el diodo requiere que su valor de tensión en inversa sea de al menos  $1,25 \times V_{IN(MAX)}$ . El diodo escogido es el 1N5822, este diodo aguanta corrientes de hasta 3A y tensiones en inversa de 40V.

A continuación se muestran los valores de los componentes a modo de resumen:

L1 = 470μH

D3 = 1N5822

C18 = 100 μF

$$C19 = 470\mu F$$

$$R10 = 1k\Omega$$

$$R11 = 11,2 k\Omega \text{ (potenci3metro de } 20k\Omega)$$

Para la salida de 5V se realizan los mismos pasos y se obtienen los siguientes valores de componentes:

$$L2 = 330\mu H$$

$$D4 = 1N5822$$

$$C20 = 100\mu F$$

$$C21 = 470\mu F$$

$$R12 = 2,2k\Omega$$

$$R13 = 6,74k\Omega \text{ (Potenci3metro de } 10k\Omega)$$

- Convertidor DC-DC PTN78000A

Este convertidor inversor de tensi3n de Texas Instruments (Figura 3.7) proporciona una salida -15V a partir de una entrada de +15V con una corriente m3xima de 1,5A. Algunas de las caracter3sticas principales del convertidor PTN78000A son el amplio rango de tensi3n de entrada (7V – 29V), salida ajustable (-3V – -15V) mediante componentes discretos, eficiencia del 84% y protecciones de cortocircuito y temperatura.

Las consideraciones a la hora de dise1ar con el conversor PTN7800A son:

- La tensi3n de entrada m3xima debe corresponder a  $V_{IMAX} = 32 - |V_O|$ .
- La potencia m3xima a la salida es de 9W.
- Los condensadores de 4, 7 $\mu$ F deben de estar lo m3s cerca posible al PTN78000A

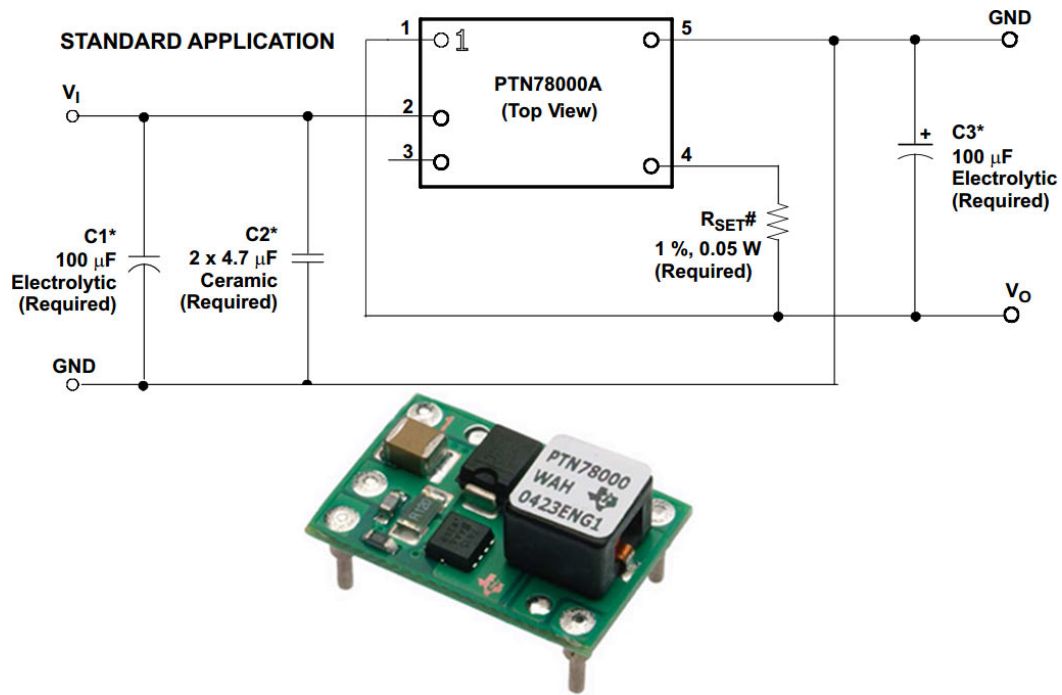


Figura 3.7: Configuración y apariencia del PTN78000

El valor de la salida se configura con la resistencia  $R_{SET}$  que según indica en las hojas de características debe de tener un valor de  $99\Omega$  ( $100\Omega$  en el diseño real).

- Regulador 7905

El regulador 7905 (Figura 3.8) es el encargado de suministrar la tensión de  $-5V$  a partir de una tensión de entrada de  $-15V$ , proporcionada por el convertidor PTN78000A, con una corriente máxima de  $1,5A$ . Al igual que los reguladores de la familia 78XX, sus características destacables son la protección contra cortocircuito y la limitación de corriente.

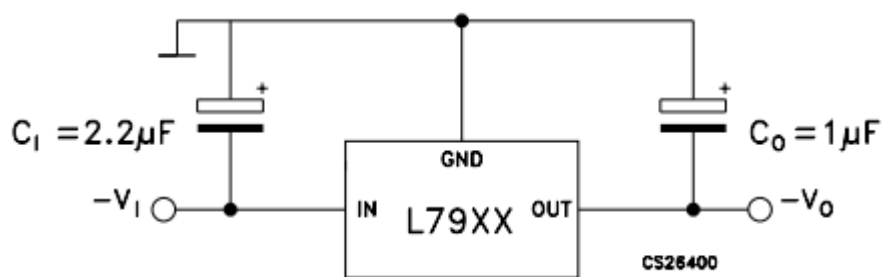
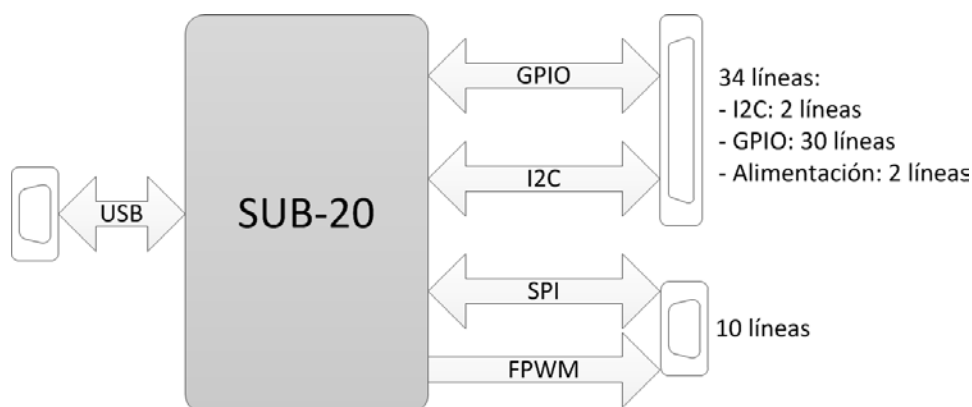


Figura 3.8: Regulador lineal 7905

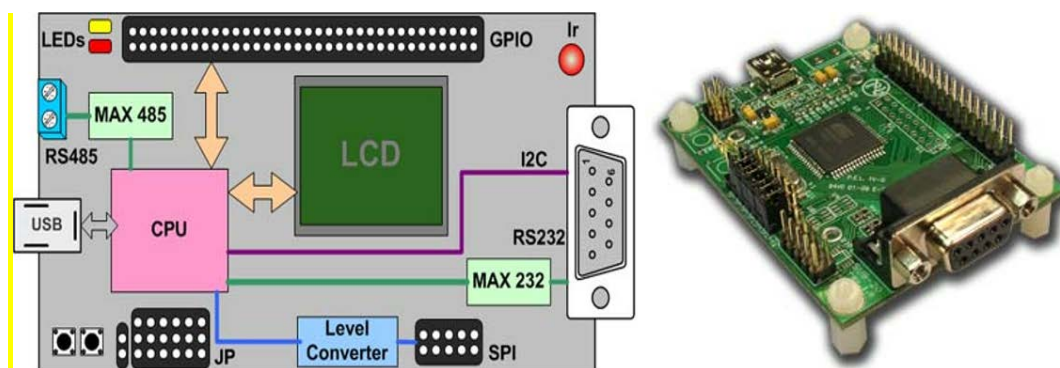
### 3.2.2 Bloque de comunicaciones

Este bloque de la placa base se encarga de comunicar los módulos de los equipos y el programa de ordenador que controla dichos módulos. El diagrama de este bloque se muestra en la figura 3.9:



**Figura 3.9: Bloque comunicaciones**

Las comunicaciones con el resto de módulos están controladas por el adaptador multi-interfaz USB denominado SUB-20, del fabricante XDIMAX. El diagrama de bloques y la apariencia de esta tarjeta se muestran en la Figura 3.10.



**Figura 3.10: Tarjeta SUB-20**

La SUB-20 es una tarjeta que adapta los datos que recibe por el bus USB a los buses de los que dispone la tarjeta. Las interfaces a las que es posible adaptar desde USB son las siguientes:

- I2C: tanto maestro como esclavo. Reloj variable desde los 500Hz hasta 440kHz. Nivel de tensión y resistencias de *pull-up* configurables.



–SPI: con un reloj variable de 4kHz a 8MHz. Se puede configurar tanto la fase, la polaridad o el tipo de transferencia (MSB o LSB). Soporta rangos de tensión entre 1,2V a 5,5V. Memoria FIFO de 128 bytes para almacenar datos cuando funcione de esclavo. 5 líneas *chip select* independientes. También soporta *3-wire SPI*.

–MDIO: soporte para IEEE 802.3. *Management Data Clock* (MDC) de 1MHz. Soporte para los niveles del bus SPI.

–GPIO: 32 líneas bidireccionales (2 de ellas se utilizan para el bus I2C) configurables por separado para entrada o salida. Todos los pines tienen resistencias de *pull-up* y diodos de protección para VCC y GND. Entre las funciones que pueden desarrollar las líneas se encuentran 8 entradas analógicas de ADC, salidas de PWM con frecuencia y ciclo de trabajo configurable y entradas de detector de flanco.

–RS232, RS485: tasa de baudios configurable. Soporta tramas de 5, 6, 7, 8, 9 bits y 1 o 2 bits de parada. Generación y detección de paridad par o impar.

–*Fast PWM* de hasta 8MHz

–Adaptador USB a Infrarrojos.

–Posibilidad de añadir un *display* LCD de 8x2 alfanumérico.

En lo referente al software, la tarjeta SUB-20 es compatible con Windows 2000/XP/Vista/7/8, Unix/Linux, MacOS y DOS. Cuenta con una sencilla y eficiente API preparada para usar una interfaz gráfica y aplicaciones basadas en líneas de comandos como C, C++, C# y Visual Basic. Además de poder utilizar funciones .NET tanto para Matlab como para LabVIEW.

A pesar de poseer todas estas posibilidades, en este proyecto solamente se van a utilizar las líneas GPIO, el bus I2C, el bus SPI y el *Fast PWM*.

El bus I2C bus consta de dos líneas bidireccionales, *Serial Data* (SDA) que es la que contiene los datos a transmitir y *Serial Clock* (SCL) que es la encargada de generar el reloj de sincronización.

La forma de comunicación entre dos o más dispositivos mediante este bus es la de maestro-esclavo. Cada dispositivo tiene una dirección única y cualquiera puede hacer la función de transmisor o receptor de datos dependiendo de su función. El dispositivo maestro es el que inicia la transferencia de datos en el bus y el

encargado de generar la señal de reloj. El formato de la trama de datos que envía el dispositivo maestro al esclavo tiene la siguiente composición:

- Bit de inicio
- 7 bits de direccionamiento
- Un bit para determinar si se recibe o transmiten datos
- Un bit de reconocimiento
- Los datos o comandos divididos en bytes
- Un bit de parada.

A diferencia del bus I2C, el bus SPI consta de cuatro líneas, *Master Out Slave In* (MOSI) generada por el dispositivo maestro hacia el esclavo, *Master In Slave Out* (MISO) generada por el dispositivo esclavo hacia el maestro, *Serial Clock* (SCLK o SCK) reloj de sincronización de datos entre el maestro y el esclavo, y *Slave Select* (SS) en modo maestro o *Chip Select* (CS) para los esclavos, señal generada por el dispositivo maestro para habilitar individualmente un dispositivo esclavo.

La comunicación siempre es iniciada por el dispositivo maestro. Para ello primero configura la señal de reloj y a continuación selecciona el dispositivo esclavo con el que se comunicará mediante la línea SS. A partir de aquí la comunicación que se desarrolla es *full-dúplex*, tanto el maestro como el esclavo puede enviar y recibir información.

Las tablas 3.1 y 3.2 muestran las líneas con su tipo y función.

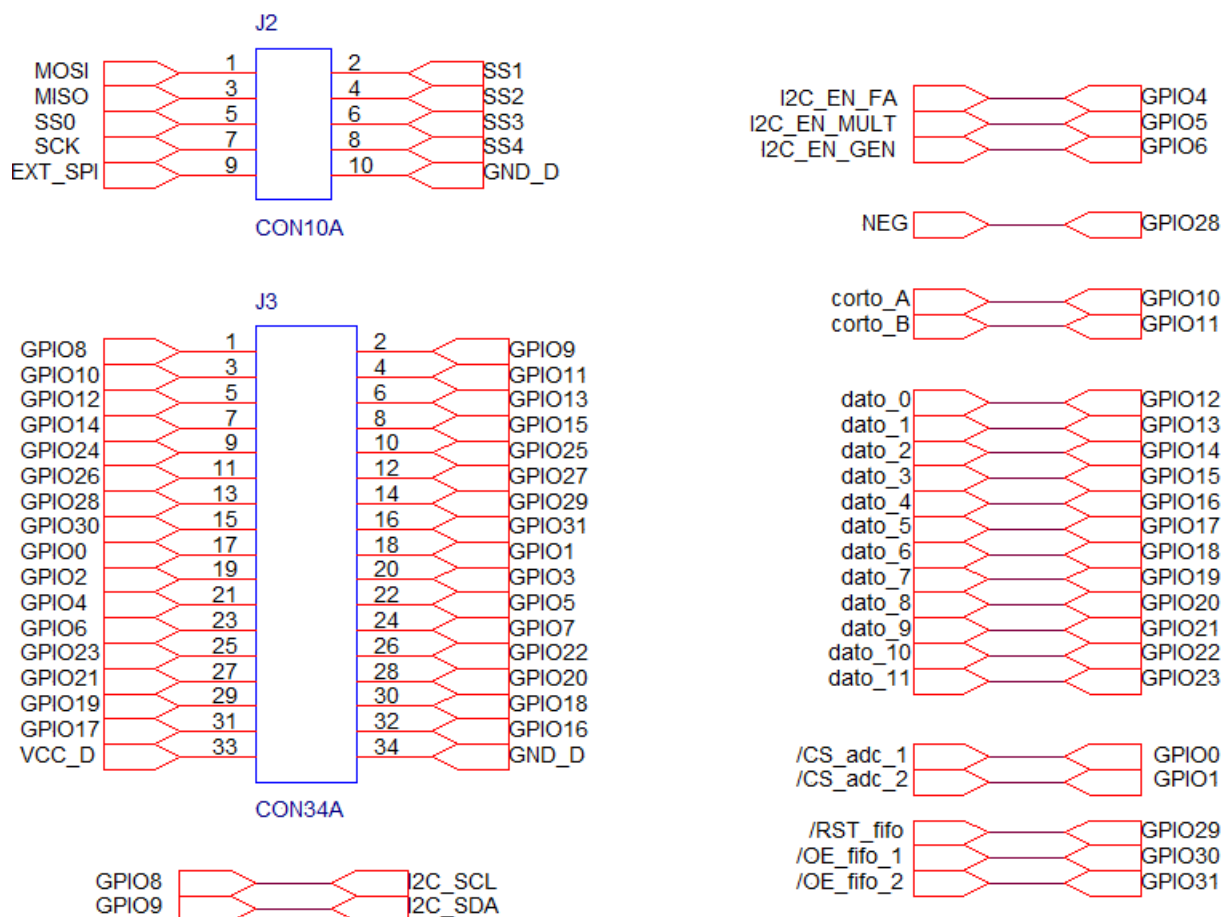
Nº SPI	Tipo	Función
1	Salida	MOSI
2	Salida	SS1
3	Entrada	MISO_A
4	Salida	SS2 (FPWM2)
5	Salida	SS0
6	Salida	SS3
7	Reloj	SCK
8	Salida	SS4
9	Alimentación	SPI_EXT
10	Alimentación	GND_D

**Tabla 3.1: Líneas del conector SPI**

Nº GPIO	Tipo	Nº Pin	Función
0	Salida	17	/CS_adc_1
1	Salida	18	/CS_adc_2
2	Sin conexión	19	
3	Sin conexión	20	
4	Salida	21	I2C_EN_FA
5	Salida	22	I2C_EN_MULT
6	Salida	23	I2C_EN_GEN
7	Sin conexión	24	
8	Reloj	1	I2C_SCL
9	E/S	2	I2C_SDA
10	Entrada	3	corto_A
11	Entrada	4	corto_B
12	Entrada	5	dato_0
13	Entrada	6	dato_1
14	Entrada	7	dato_2
15	Entrada	8	dato_3
16	Entrada	32	dato_4
17	Entrada	31	dato_5
18	Entrada	30	dato_6
19	Entrada	29	dato_7
20	Entrada	28	dato_8
21	Entrada	27	dato_9
22	Entrada	26	dato_10
23	Entrada	25	dato_11
24	Sin conexión	9	
25	Sin conexión	10	
26	Sin conexión	11	
27	Sin conexión	12	
28	Entrada	13	NEG
29	Salida	14	/RST_fifo
30	Salida	15	/OE_fifo_1
31	Salida	16	/OE_fifo_2
--	Alimentación	33	VCC_D
--	Alimentación	34	GND_D

Tabla 3.2: Líneas del conector GPIO

La comunicación entre la tarjeta SUB-20 y la placa base se realiza a través de dos cables planos hacia sus correspondientes conectores. Uno de los cables planos de 34 vías para GPIO (30 líneas de E/S, 2 líneas del bus I2C y 2 líneas para VCC y GND) y el otro cable plano de 10 vías para el bus SPI. El esquemático de esta unión entre la tarjeta y la placa base se muestra en la Figura 3.11:



**Figura 3.11: Esquemático bloque comunicaciones**

A pesar de tener 30 líneas de E/S no son suficientes para poder configurar todos los módulos del sistema, para ello se hace uso de un expensor de puertos controlado por I2C.

- Expensor PCA9555

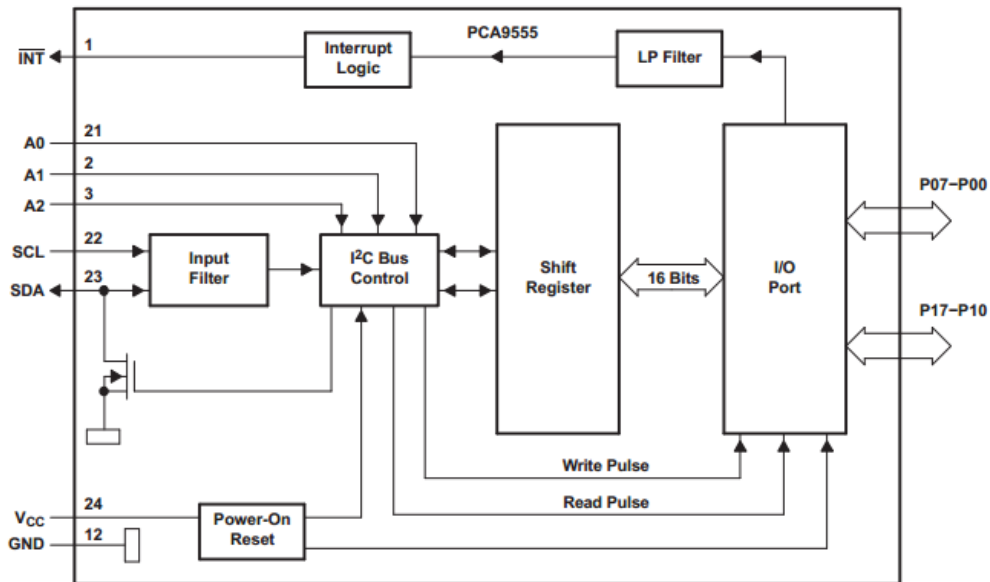
Las líneas de salida de este expensor junto con las líneas de la tarjeta suman el número suficiente de líneas para configurar todos los componentes del resto de los módulos.

En este caso se utiliza un único expensor PCA9555 de Texas Instruments con 16 líneas bidireccionales obteniendo así un total de 44 líneas digitales totales disponibles. Las principales características de este expensor son:

- 16 puertos E/S compatibles con niveles TTL.

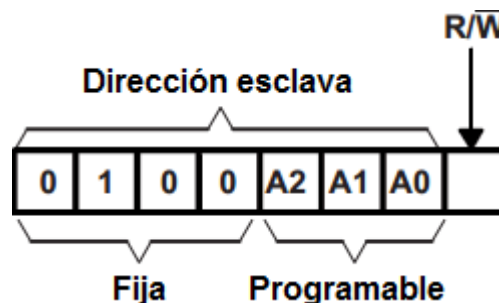
- *Fast I2C*, hasta 400 kHz.
- Direccionable mediante 3 bits por lo que se pueden utilizar hasta ocho de estos expansores.

El diagrama de bloques del expansor PCA9555 se muestra en la Figura 3.12:



**Figura 3.12: Diagrama de bloques PCA9555**

El control de este dispositivo se hace a través del bus I2C en el que los siete bits más significativos del primer byte de la trama se corresponden con la dirección siendo el último bit el que indica si se escribe o se lee del expansor. En este proyecto, al utilizarse un sólo expansor se usa la dirección 0x20. En la Figura 3.13, se ve qué bits son fijos y cuáles son programables.



**Figura 3.13: Dirección I2C esclava PCA9555**

El segundo byte es el de los comandos y sirve para configurar cómo se utilizan los puertos del expansor. En la tabla 3.3 aparecen todos los comandos de

configuración con su función correspondiente. Al utilizarse todos los puertos como salida, este *byte* ha de tomar el valor 0x02 que controla tanto el *Port 0* como el *Port 1* (el comando 0x03 sólo controla el *Port 1*).

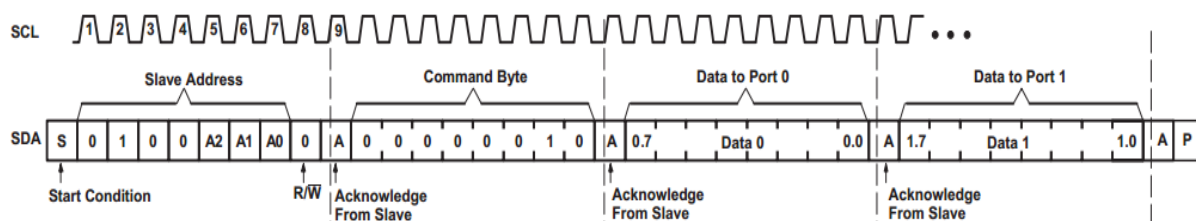
Registro de bits de control			Byte de comando (HEX)	Registro	Protocolo	Valor por defecto
B2	B1	B0				
0	0	0	0x00	Entrada Puerto 0	Leer byte	xxxx xxxx
0	0	1	0x01	Entrada Puerto 1	Leer byte	xxxx xxxx
0	1	0	0x02	Salida Puerto 0	Leer/Escribir byte	1111 1111
0	1	1	0x03	Salida Puerto 1	Leer/Escribir byte	1111 1111
1	0	0	0x04	Inversión polaridad Puerto 0	Leer/Escribir byte	0000 0000
1	0	1	0x05	Inversión polaridad Puerto 1	Leer/Escribir byte	0000 0000
1	1	0	0x06	Configuración Puerto 0	Leer/Escribir byte	1111 1111
1	1	1	0x07	Configuración Puerto 1	Leer/Escribir byte	1111 1111

0	0	0	0	0	B2	B1	B0
---	---	---	---	---	----	----	----

**Tabla 3.3: Comandos I2C PCA9555**

Por último, los dos últimos bytes son los que indican el valor de las 16 líneas de E/S del expansor.

Con todo esto, la trama completa que se envía al expansor es la de la Figura 3.15:



**Figura 3.14: Trama I2C PCA9555**

En la Figura 3.15 se muestra el esquemático y la función de las líneas de salida. Hay que tener en cuenta que la alimentación de este expansor proviene de la tarjeta SUB-20 y no del bloque de alimentación. También que los pines de direcciones A0, A1 y A2 están puestos a masa para escoger la dirección 0x20.

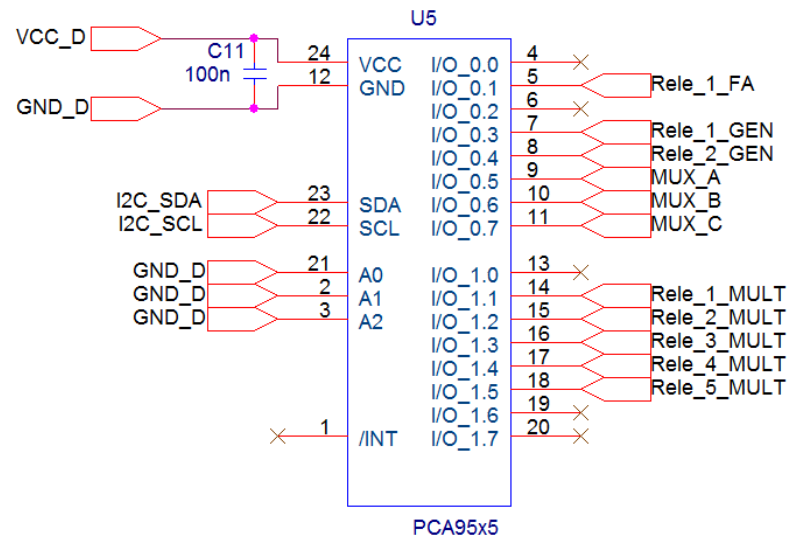


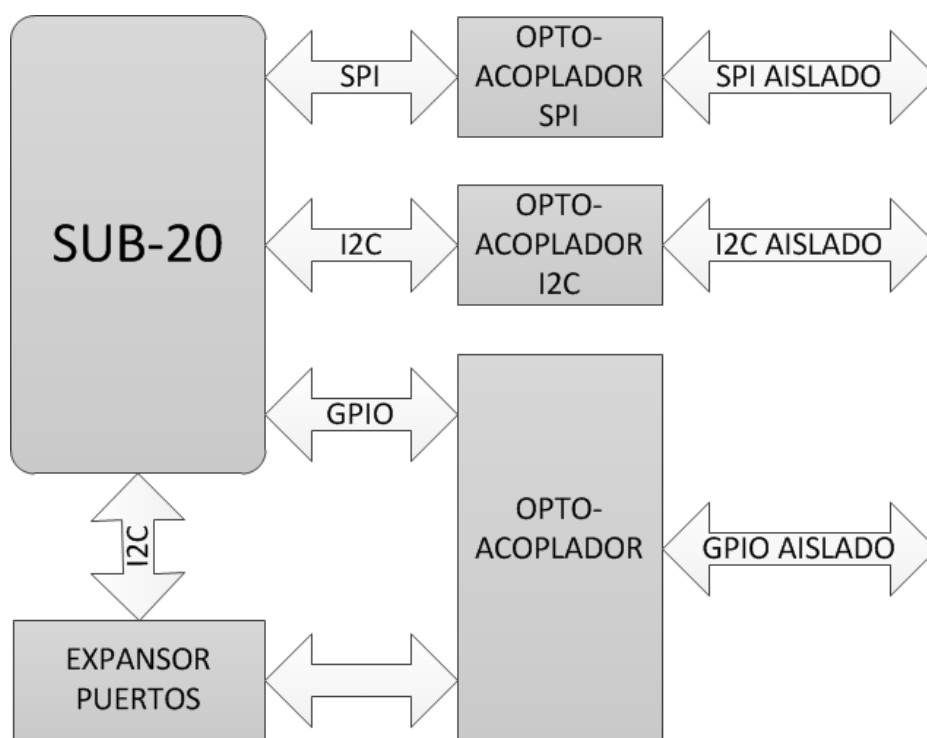
Figura 3.15: Esquemático expensor PCA9555

### 3.2.3 Bloque de aislador de señales

El aislamiento de las señales procedentes de la tarjeta SUB-20 está pensado para evitar problemas debido al consumo de corriente y a posibles interferencias. Además de evitar estos posibles problemas también se consiguen tener todas las señales referenciadas a la alimentación y masa procedentes de los reguladores en lugar de las procedentes de la tarjeta SUB-20 que proceden directamente del PC a través del puerto USB.

El aislamiento de las señales del puerto GPIO de la tarjeta SUB-20, como las señales del expensor de puertos, se lleva a cabo mediante opto-acopladores de propósito general. Para los buses SPI e I2C se utilizan opto-acopladores especiales para evitar problemas con las velocidades propias de estos dos buses.

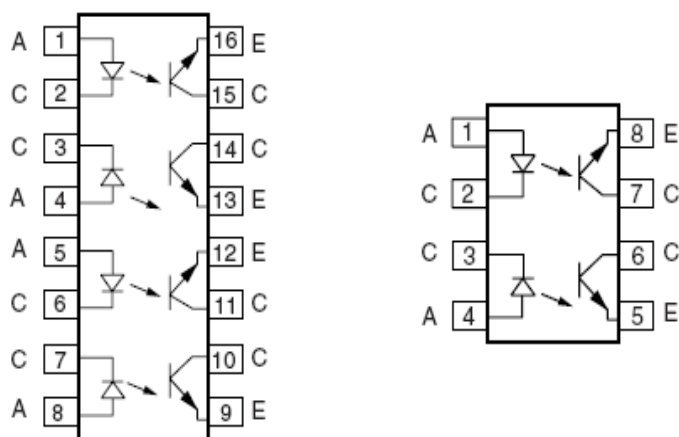
En la Figura 3.16 se muestra el diagrama de bloques de esta parte de la placa base y cada uno de los sub-bloques:



**Figura 3.16: Bloque aislador señales digitales**

#### Aislamiento señales provenientes del expensor

Para estas señales se van a usar los opto-acopladores de VISHAY CNY74-4H y CNY74-2H. Este integrado tiene cuatro o dos, dependiendo del modelo, opto-acopladores dispuestos de la manera en la que aparece en la Figura 3.17 y con las características de la tabla 3.4:



**Figura 3.17: Esquema interno de los opto-acopladores CNY74-2H/4H**



ELECTRICAL CHARACTERISTICS						
PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
INPUT						
Forward voltage	$I_F = 20 \text{ mA}$	$V_F$		1.3	1.5	V
Reverse current	$V_R = 3 \text{ V}$	$I_R$		0.1	100	$\mu\text{A}$
Capacitance	$V_R = 0 \text{ V}$	$C_O$		25		pF
OUTPUT						
Collector emitter breakdown voltage	$I_C = 1 \text{ mA}$	$BV_{CEO}$	70			V
Collector emitter leakage current	$V_{CE} = 5 \text{ V}, I_F = 0 \text{ A}$	$I_{CEO}$			100	nA
Capacitance collector emitter	$V_{CE} = 0 \text{ V}, f = 1 \text{ Hz}$	$C_{CE}$		10		pF
COUPLER						
Saturation voltage, collector emitter	$I_C = 2 \text{ mA}, I_F = 16 \text{ mA}$	$V_{CEsat}$		0.3	0.5	V
Resistance (input to output)		$R_{IO}$		100		$\text{G}\Omega$
Capacitance (input to output)		$C_{IO}$		0.5		pF

Tabla 3.4: Características eléctricas CNY74-2H/4H

En la Figura 3.18 se muestra la configuración necesaria para cada canal de los opto-acopladores:

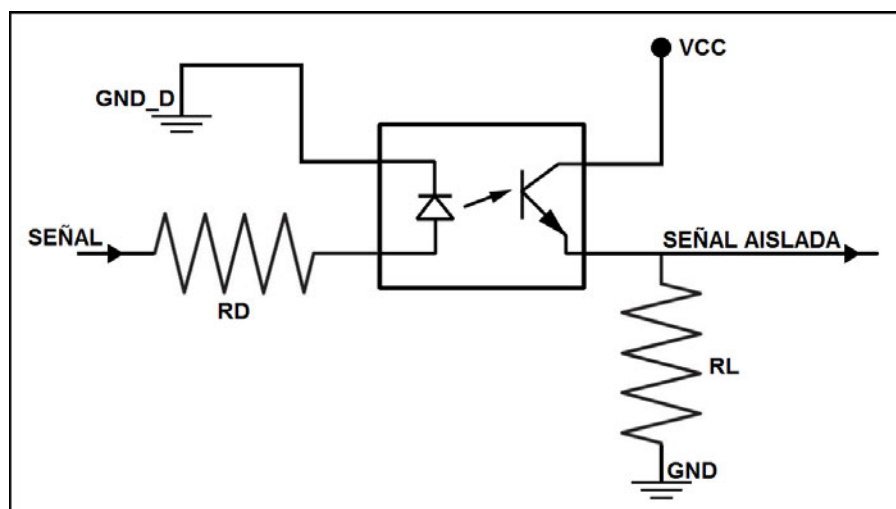
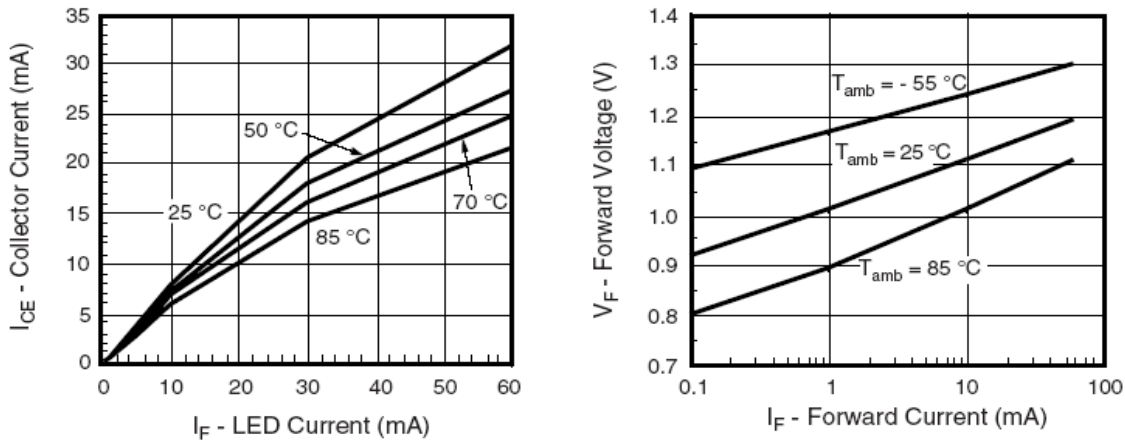


Figura 3.18: Esquema eléctrico aislamiento señales expansor

Para el cálculo de las resistencias  $R_D$  y  $R_L$  se han tenido en cuenta las gráficas de la Figura 3.19, las cuales relacionan la corriente que circula por el led de la entrada y la corriente colector-emisor del transistor de salida, y la tensión en dicho led.



**Figura 3.19: Corriente de led Vs Corriente Colector-Emisor y Tensión de led**

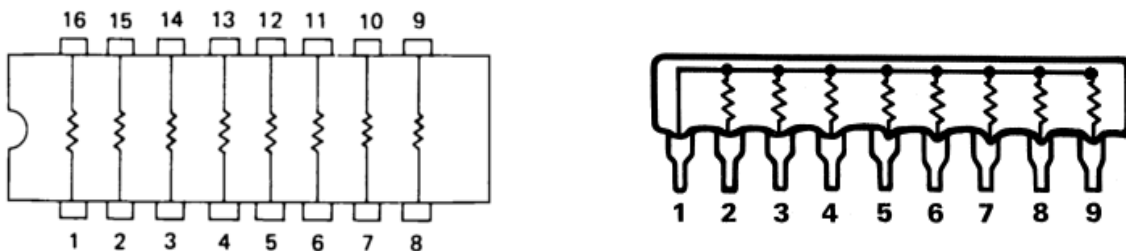
La máxima corriente que puede entregar los puertos del expansor varía entre los 8mA y los 10mA. Para evitar problemas de consumo de corriente se va a escoger un valor de  $I_F$  que sea la mitad del valor máximo más pequeño lo que daría una  $I_F$  de 4mA.

Para este valor escogido se obtiene que si  $I_F = 4\text{mA} \rightarrow V_F = 1,05\text{V} \rightarrow I_{CE} = 2\text{mA}$

$$R_L = \frac{V_{CC} - V_{sat}}{I_{CE}} = \frac{5\text{ V} - 0,2\text{V}}{2\text{ mA}} = 2,4\text{K}\Omega \rightarrow 2,2\text{k}\Omega$$

$$R_D = \frac{V_{OH_{SUB-20}} - V_F}{I_F} = \frac{5\text{ V} - 1,05\text{ V}}{4\text{ mA}} = 987,5\Omega \rightarrow 1\text{k}\Omega$$

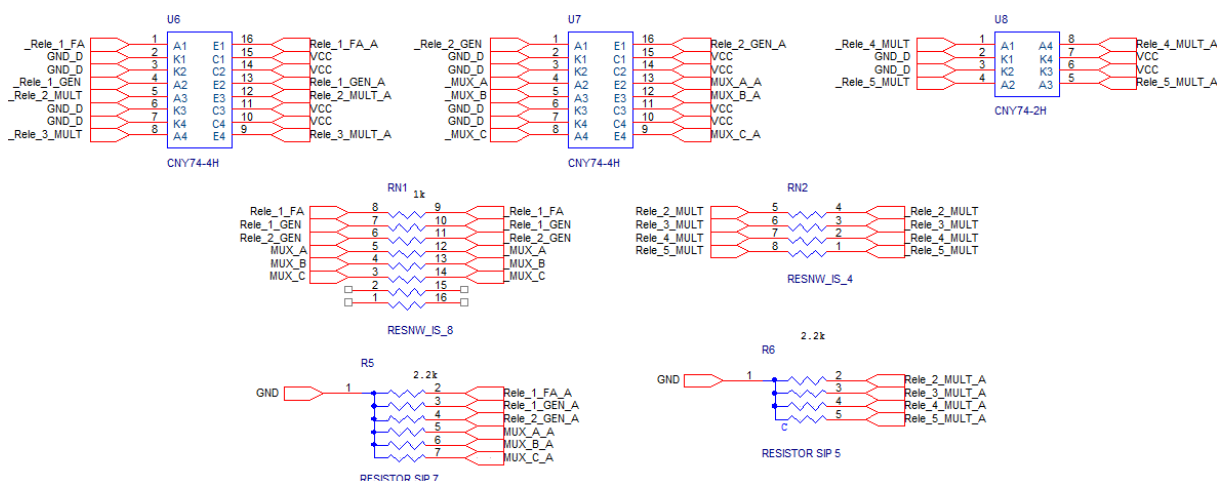
Al ser todos los valores, tanto de  $R_D$  como  $R_L$ , iguales entre sí se va a utilizar *arrays* de resistencias (Figura 3.20) para ahorrar espacio en la placa. Para la resistencia  $R_D$  se usa *arrays* de resistencias SMD de 8 componentes (16 pines) y para la resistencia  $R_L$  *arrays* de resistencias SIL de 8 componentes conectadas (9 pines) o de 6 componentes (7 pines) dependiendo de la necesidad.



**Figura 3.20: Arrays de resistencias DIP y SIL**

Por último, debido a la configuración mostrada en la Figura 3.18 a la salida de los integrados CNY74-4H y CNY74-2H se obtiene el mismo nivel lógico que a la entrada, y no invertida como suele ser normal.

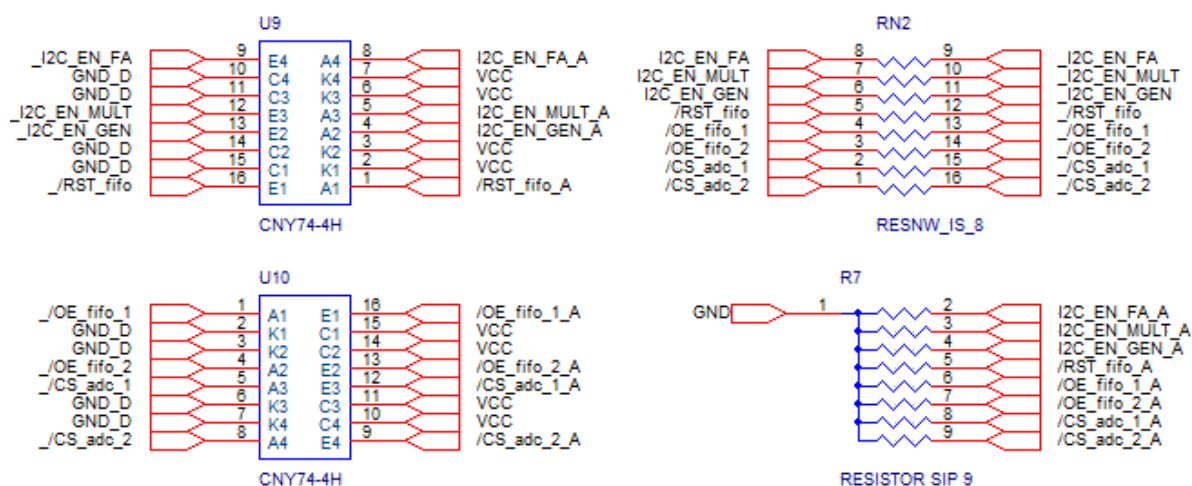
Parte del esquemático de este bloque se muestra en la Figura 3.21:



**Figura 3.21: Esquemático aislamiento señales expensor**

### Aislamiento señales proveniente del GPIO

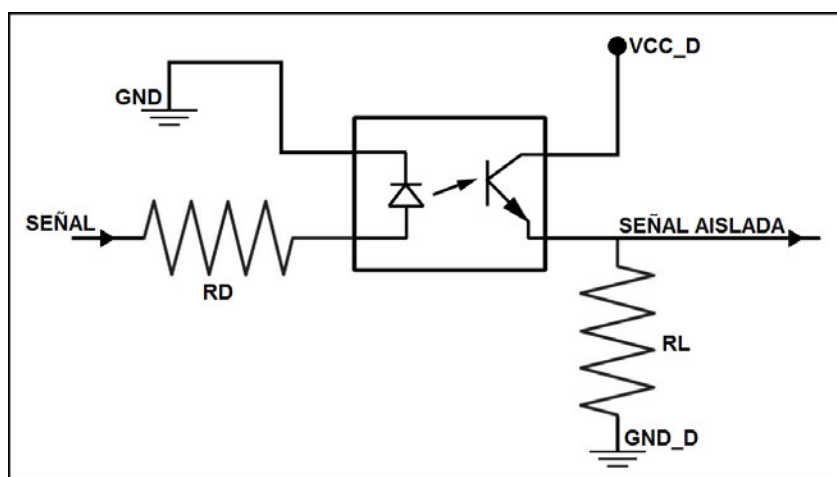
Estas señales se corresponden con las líneas del GPIO 0, 1, 4, 5, 6, 29, 30 y 31 de la tarjeta SUB-20. La forma de aislar estas líneas se realiza de la misma manera que las líneas provenientes del expensor. La única diferencia es consecuencia de la máxima corriente que puede entregar los puertos GPIO de la tarjeta SUB-20 que no puede exceder de 100mA por cada cuatro líneas, es decir, la suma de las corrientes de las líneas GPIO0 a GPIO3 no puede sobrepasar 100mA, lo mismo para las líneas desde la GPIO4 a GPIO7 y así sucesivamente. Para no complicar el diseño de la placa base se ha escogido el mismo valor que con el aislamiento de las señales del expensor,  $I_F = 4\text{mA}$ . De este modo los cálculos de las resistencias son igual al apartado anterior. En la Figura 3.22 se muestra el esquemático del aislamiento de estas líneas.



**Figura 3.22: Esquemático aislamiento señales GPIO**

### Aislamiento señales de lectura

A diferencia del aislamiento de todas las señales explicadas anteriormente, éstas al ser de lectura, se produce al contrario. Es decir, en lugar de aislar la señal de alimentación de la tarjeta SUB-20 para adecuarla a la alimentación Vcc, es esta alimentación la que se tiene que adecuar a la dada por la tarjeta SUB-20. Esto se aprecia en la Figura 3.23.



**Figura 3.23: Esquema eléctrico señales de lectura**

Esta es la única diferencia apreciable con respecto al resto de líneas. Los valores de resistencias son los mismos que para las otras líneas. En la Figura 3.24 se muestra el esquemático de esta parte.

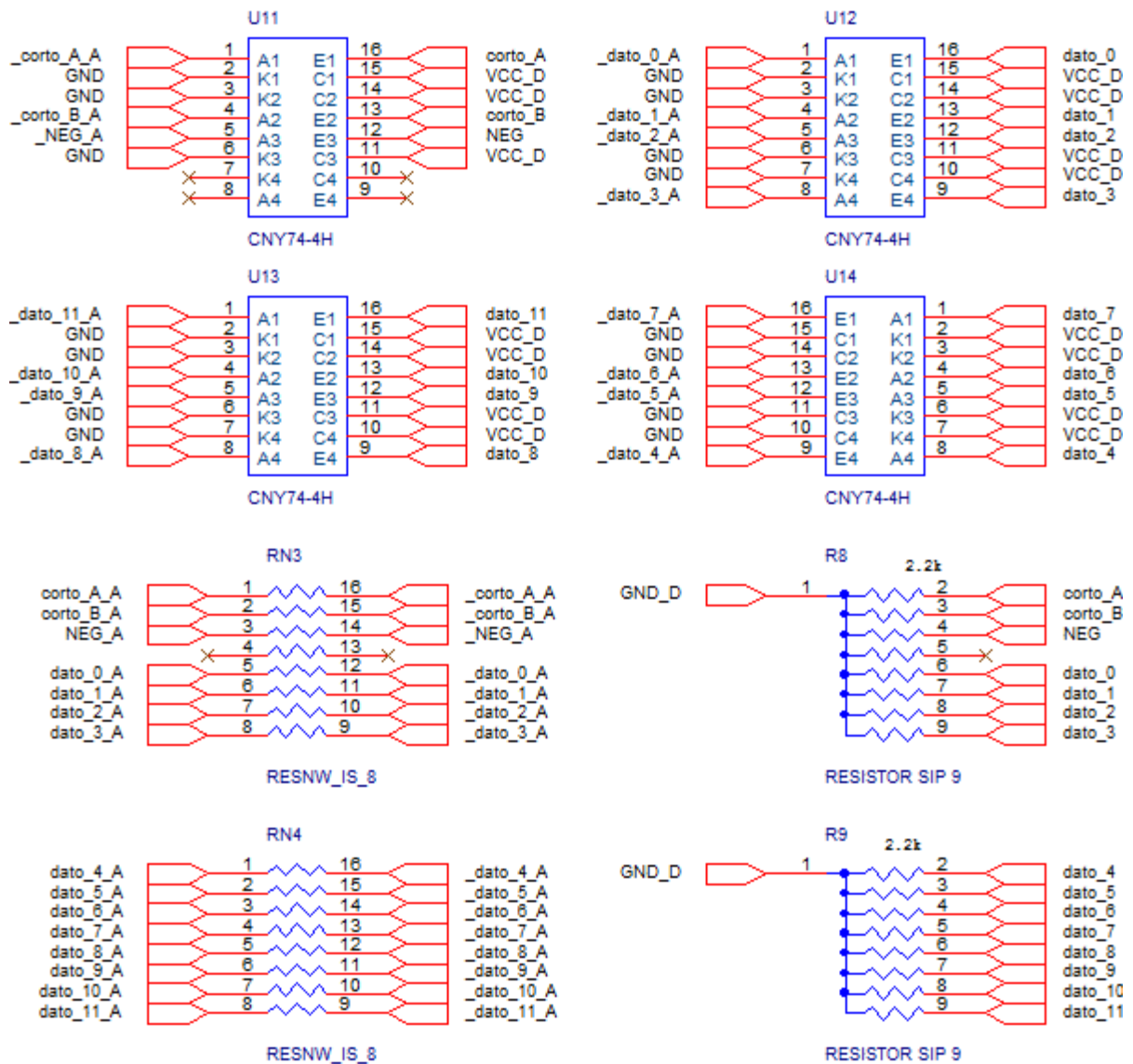
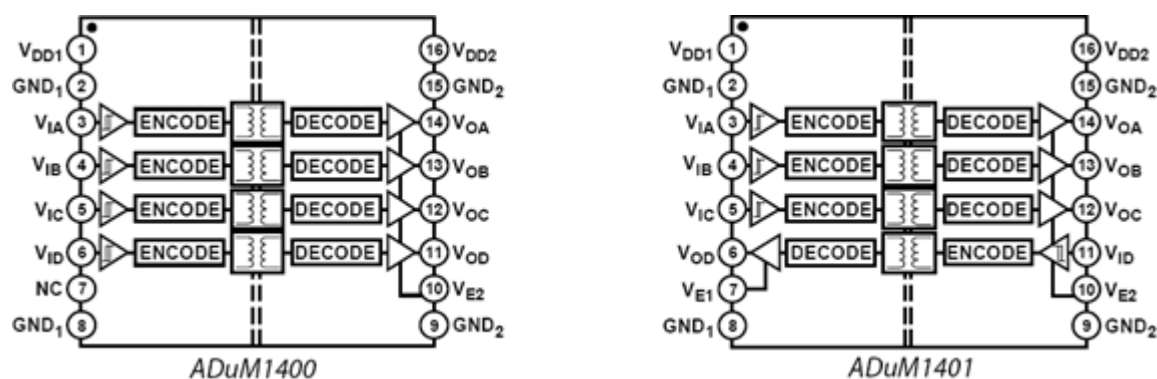


Figura 3.24: Esquemático aislamiento señales de lectura

### Aislamiento del bus SPI

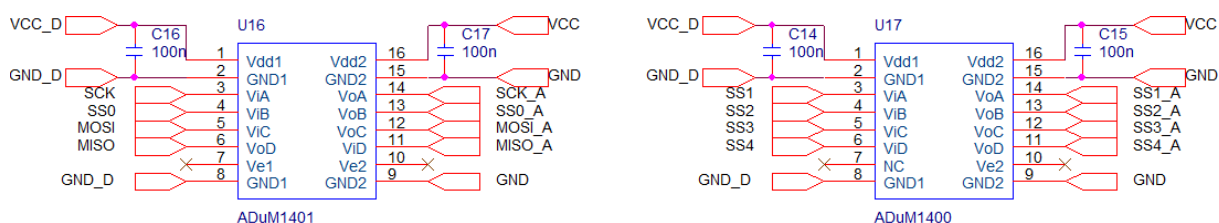
El aislamiento de este bus se lleva a cabo con unos componentes especiales para este propósito en lugar de con los opto-acopladores CNY74-4H. Los integrados utilizados son los ADuM1400 y ADuM1401 del fabricante Analog Devices especiales para bus SPI (Figura 3.25).



**Figura 3.25: Aisladores SPI**

Estos aisladores soportan una velocidad de transferencia de datos de hasta 90Mbps, pueden ser bidireccionales, con un rango de 3V a 5V y no necesitan de componentes adicionales para funcionar.

El bus SPI básico consta de 4 líneas, MOSI, MISO, SCK y SS0, el módulo del bus SPI de la tarjeta SUB-20 añade además otras 4 líneas de selección de integrado, SS1, SS2, SS3 y SS4. Para las cuatro primeras líneas se utiliza el integrado ADuM1401 y para las cuatro líneas adicionales de selección se utiliza el ADuM1400. El esquemático de esta parte queda como se muestra en la figura 3.26:



**Figura 3.26: Esquemático aislamiento bus SPI**

### Aislamiento del bus I2C

Al igual que con el bus SPI, el aislamiento del bus I2C se consigue mediante un componente especial para aislar este tipo de buses, en concreto con el ADuM1250 del fabricante Analog Devices (Figura 3.27).

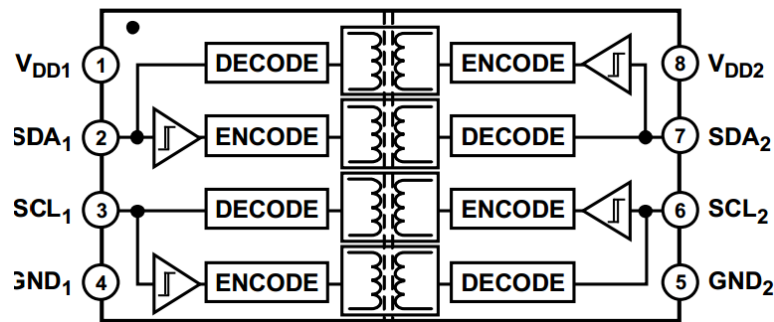


Figura 3.27: Aislador ADuM1250

Características a destacar son:

- Comunicación I2C bidireccional.
- Interfaces con drenador abierto.
- 30mA de corriente en las líneas de SDA y SCL.
- Niveles lógicos de 3V hasta 5,5V.

El diagrama de este aislador se muestra en la Figura 3.28:

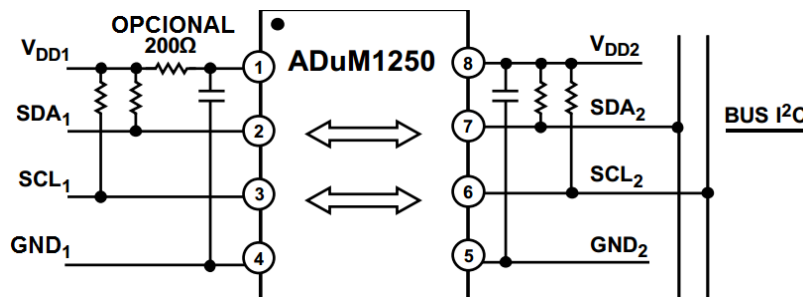
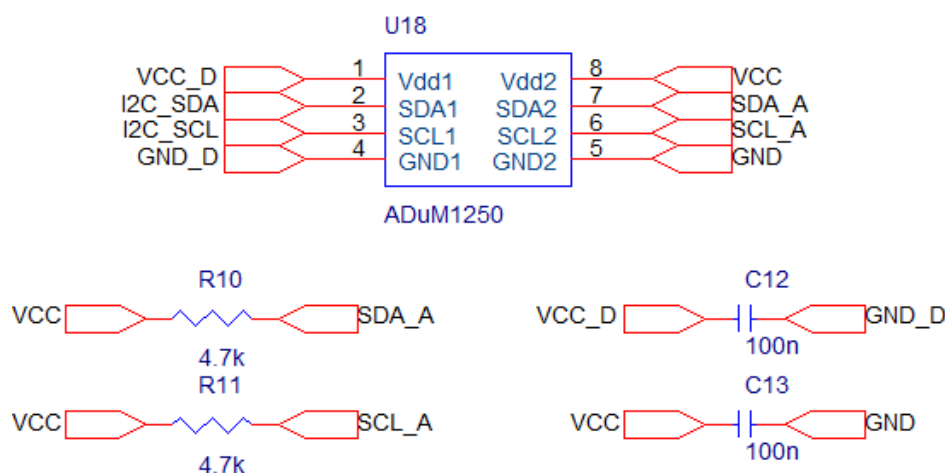


Figura 3.28: Aplicación típica ADuM1250

En las salidas de las señales SDA y SCL son necesarias resistencias de *pull-up* para conseguir los niveles adecuados al bus I2C. Los valores pueden ir desde 1kΩ hasta los 10kΩ, el valor escogido es uno intermedio de 4,7kΩ.

En la Figura 3.29 se muestra el esquemático del aislador con sus componentes asociados.



**Figura 3.29: Esquemático aislador I2C**

### Selección del bus I2C

Una vez que el bus está aislado, lo que se realiza a continuación es multiplexar este bus para cada una de los módulos. Esto se hace debido a la imposibilidad, debido al software utilizado, de cambiar la dirección I2C de algunos de los componentes usados en los módulos. La selección del camino a cada uno de los módulos se realiza mediante el circuito integrado PCA9516 de la empresa Philips.

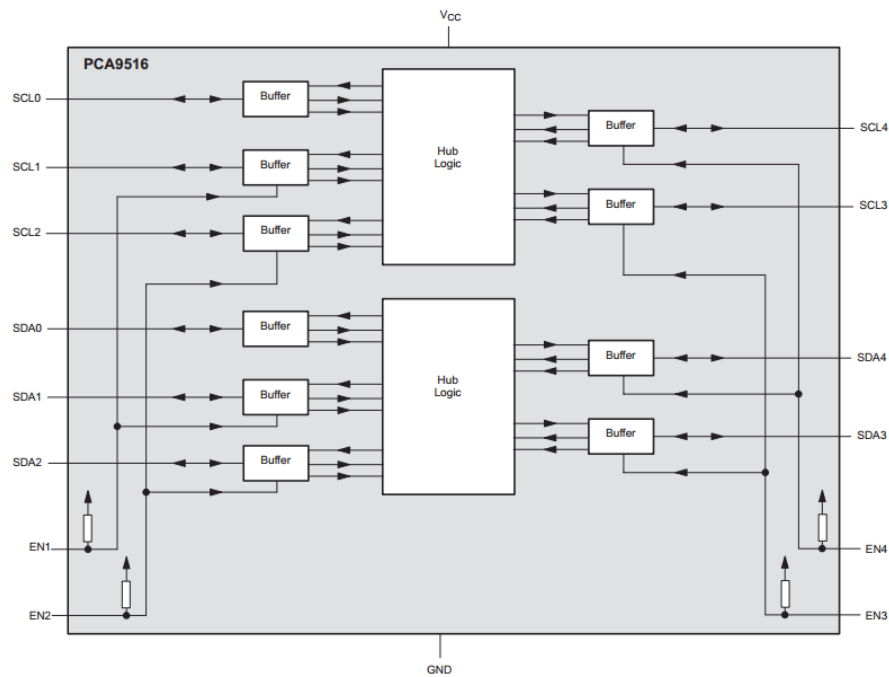
El circuito integrado PCA9516 consiste en un *hub* de 5 canales, en el cual por uno de los canales llega el bus I2C (normalmente el 0) y lo direcciona a uno de los cuatro canales restantes según se habiliten.

Las principales características de este integrado son:

- 5 canales bidireccionales.
- Compatible con I2C y SMBus.
- Entradas/salidas en drenador abierto.
- Soporta niveles de I2C y de pines de habilitación de hasta 5.5V.
- Frecuencia máxima de 400 kHz.

El diagrama de bloques de este componente se muestra en la figura 3.30:





**Figura 3.30: Diagrama de bloques PCA9516**

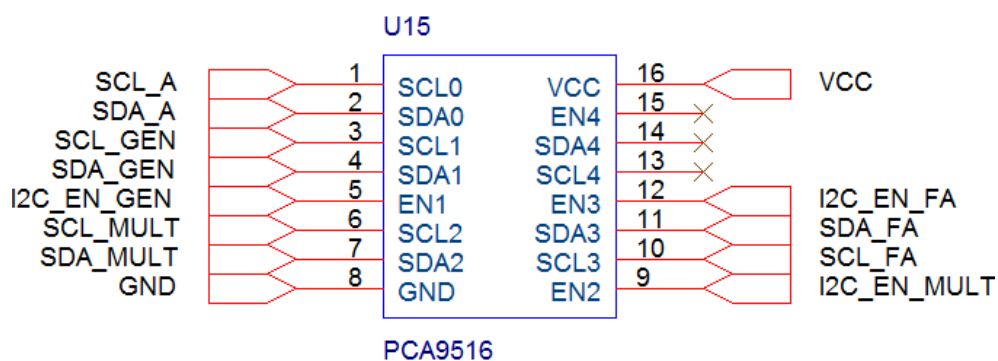
Las líneas que habilitan cada canal, proceden del bloque aislador de señales digitales (I2C\_EN\_FA, I2C\_EN\_GEN, I2C\_EN\_MULT), aunque en realidad son controladas por el módulo de comunicaciones SUB-20 y se corresponde con las líneas mostradas en la Figura 3.31:



**Figura 3.31: Líneas de selección I2C**

Los cinco canales bidireccionales de los que dispone son de drenador abierto por lo que es necesario colocar resistencias de *pull-up*. Las resistencias de *pull-up* del canal 0 se corresponderían a las resistencias de la salida del aislador I2C ADUM1250. Las resistencias de *pull-up* para el resto de canales estarían situadas en las placas de cada módulo de equipo junto con el componente correspondiente.

En el esquemático mostrado en la Figura 3.32 se puede ver el canal del selector correspondiente a cada módulo.



**Figura 3.32: Esquemático PCA9516**

### 3.2.4 Bloque conectores

Este bloque consiste en cuatro conectores de 64 vías cada uno, a los que llegarán todas las líneas de configuración y de lectura de datos de las placas de los equipos. En la Figura 3.33 se muestran las líneas utilizadas y al pin en el que están conectadas en cada conector.

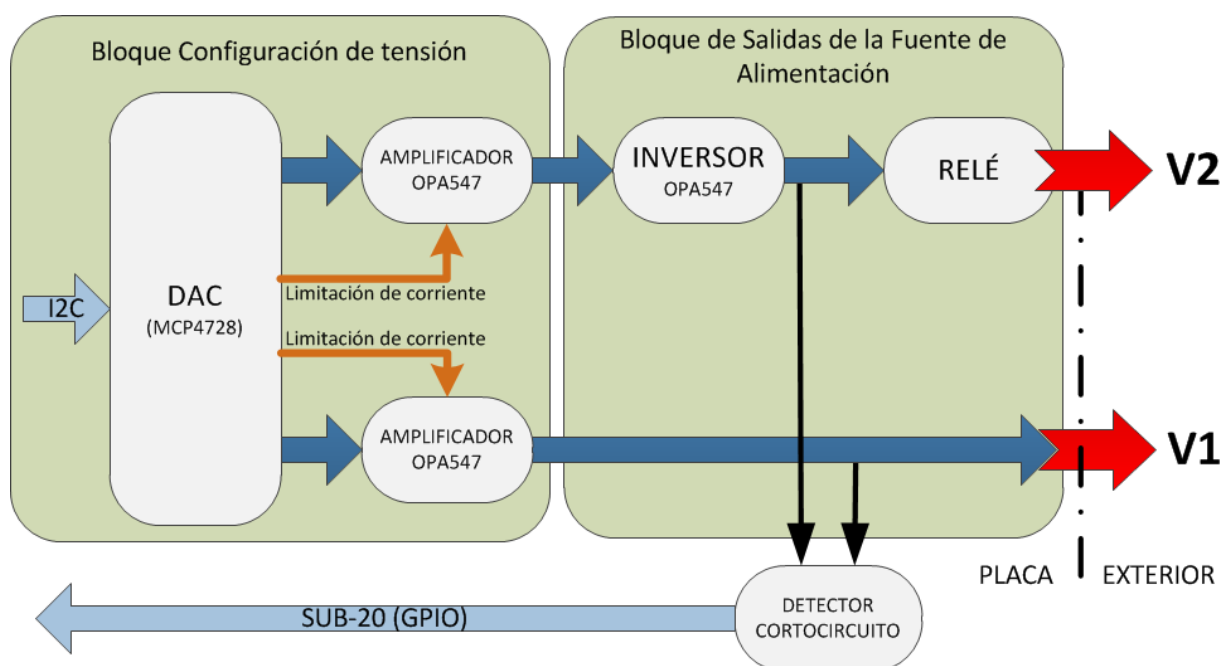
Los conectores son de inserción y en esta placa son hembras (en la de los distintos módulos serán equivalentes en macho).



Figura 3.33: Esquemático conectores

### 3.3 Módulo Fuente de Alimentación

Este bloque es el encargado de implementar una fuente de alimentación básica semejante a la que se puede encontrar en cualquier laboratorio con las limitaciones propias del diseño. Sin embargo, a pesar de las limitaciones, esta fuente también permite configurar varios modos de funcionamiento, variar la tensión de salida y limitar la corriente. En la Figura 3.34 se puede ver el diagrama de bloques de este módulo.



**Figura 3.34: Diagrama de bloques del módulo Fuente de Alimentación**

A partir de un conversor digital-analógico de cuatro salidas, se obtendrán los rangos de tensiones que irán a los amplificadores de potencia. Dos salidas del conversor servirán para poner a la salida de la fuente la tensión pedida y las otras dos salidas servirán para limitar la corriente en los amplificadores. Los amplificadores utilizados son modelo OPA547T y están configurados en modo no inversor con ganancia 3, esto permitiría tener en la salida una tensión ideal de 15V (la salida máxima del conversor digital-analógico es de 5V), aunque por limitaciones del diseño la salida máxima de la fuente es de 12V. Para conseguir una tensión negativa en uno de los terminales de la fuente, se realiza la inversión mediante otro amplificador OPA547T en modo inversor y ganancia 1.

En cuanto a la limitación de corriente, esta se consigue con las otras dos salidas del conversor y los pines correspondientes de los amplificadores, así el rango de corriente es desde 0 hasta los 300mA.

Con este diseño se disponen de dos fuentes variables e independientes (las masas de las dos fuentes corresponden a la misma salida teniendo así tres terminales: V1, GND y V2).

Las diferentes configuraciones de una fuente de alimentación básica se consiguen con ayuda de un relé. La manera en la que funciona la fuente en cada una de las configuraciones es la siguiente:

**a) Modo 1 o independiente:** Se tienen dos fuentes completamente independientes con una tensión de salida variable de 0V a 12V y una corriente de hasta 300mA que se puede limitar.

**b) Modo 2 o simétrico:** Se tienen dos fuentes con tensiones de salida simétricas variables de 0V a  $\pm 12V$  (valores positivos por la fuente 1 y negativos por la fuente 2)

Las dos salidas de la fuente están protegidas contra cortocircuitos a través de los drivers y su limitación de corriente. Además en caso de haber cortocircuito en alguna de las dos salidas se detectaría y se llevaría a cabo la desconexión de esa fuente por software.

### 3.3.1 Bloque configuración tensión

Esta parte del módulo se encarga de configurar la tensión de salida según los valores que se envíen desde la aplicación de control. El eje central de este bloque es el conversor digital-analógico MC4728.

- Conversor digital-analógico MCP4728

Este conversor del fabricante Microchip (Figura 3.35) es el principal componente y el eje central de la fuente de alimentación. Se encargará de configurar tanto el nivel de tensión de cada salida de la fuente como de la limitación de

corriente de dichas salidas.

Las principales características del integrado MCP4728 son:

- 4 salidas.
- 12 bits de configuración.
- Nivel de tensión de salida desde 0V a 5V.
- Programable mediante bus I2C.

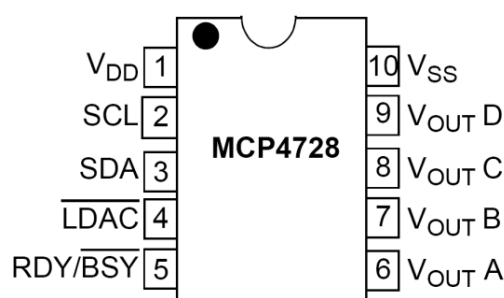


Figura 3.35: DAC MCP4728

Dos de las salidas irán hacia las entradas de los amplificadores de potencia OPA547, los responsables de poner a la salida la tensión elegida, y las otras dos salidas del conversor servirán para configurar la limitación de corriente a la salida de las fuentes.

Este conversor digital-analógico también utiliza en el módulo multímetro (ver **Capítulo 3.5 - Módulo Multímetro**) y módulo generador de funciones (ver **Capítulo 3.4 - Módulo Generador de Funciones**) y al no disponer de posibilidad de configurar la dirección I2C mediante hardware externo adicional, la dirección se configura internamente mediante la propia línea I2C como muestra la Figura 3.36:

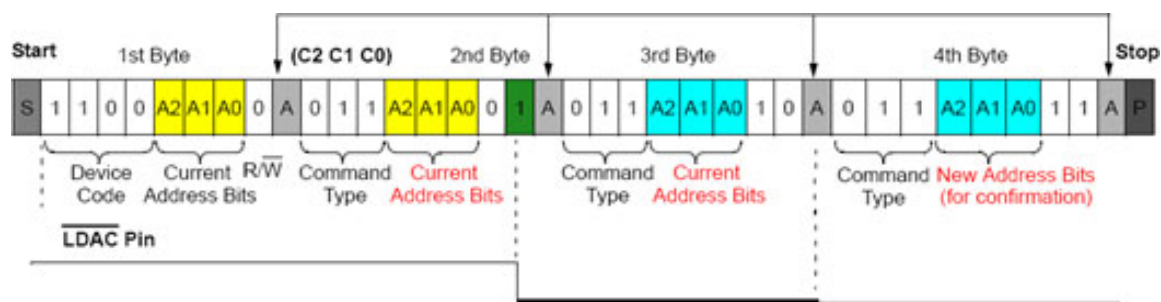
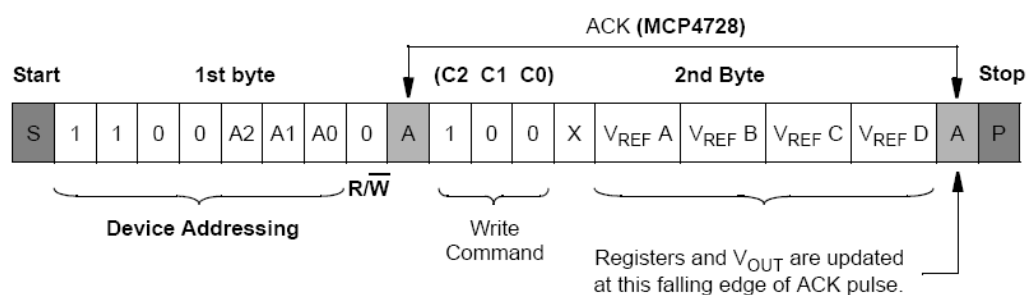


Figura 3.36: Configuración de dirección del MCP4728

Con la línea /LDAC a nivel alto en el primer byte indica la dirección actual del componente, en el primer momento la dirección es 0xC0. En el segundo byte, los tres bits más significativos indican el comando para cambiar la dirección (011<sub>b</sub>), los tres siguientes indican la dirección actual (000<sub>b</sub>) quedando los dos bits menos significativos que son 0 y 1. Este segundo byte queda durante esta primera configuración como 0x61. A partir del tercer byte, la línea /LDAC pasa a tener nivel bajo y los datos son los mismos del byte anterior salvo los dos bits menos significativos que intercambian valores, los datos de este byte son 0x62. Por último, en el cuarto byte primero se indica el comando de cambio de dirección (011<sub>b</sub>), seguido de la dirección (hasta ocho valores disponibles) y cerrando el byte dos bits puestos a 1.

El siguiente paso de configuración del conversor antes de poder empezar a escribir los valores de tensión que se quiere a la salida es seleccionar la tensión de referencia, si se quiere que sea la tensión de referencia interna o externa. Para este proyecto se va a utilizar la tensión externa ya que permite llegar hasta el nivel de alimentación de 5V. Si se escogiera referencia de tensión interna el mayor valor de tensión a la salida de cada canal sería de unos 4V. Este conversor permite elegir una tensión de referencia diferente para cada canal, aunque al final se elija que todos los canales estén referenciados externamente a la alimentación positiva de 5V. Los datos que hay que enviar para configurar la tensión de referencia se muestran en la Figura 3.37:



**Figura 3.37: Configuración tensión de referencia MCP4728**

En los bits  $V_{REFX}$  si se pone un 0 ese canal está referenciado a la alimentación externa y si se pone un 1 a la referencia interna de 2,048V. Como ya se ha indicado anteriormente todos los canales están referenciados a la alimentación externa por lo que todos estarán a 0.

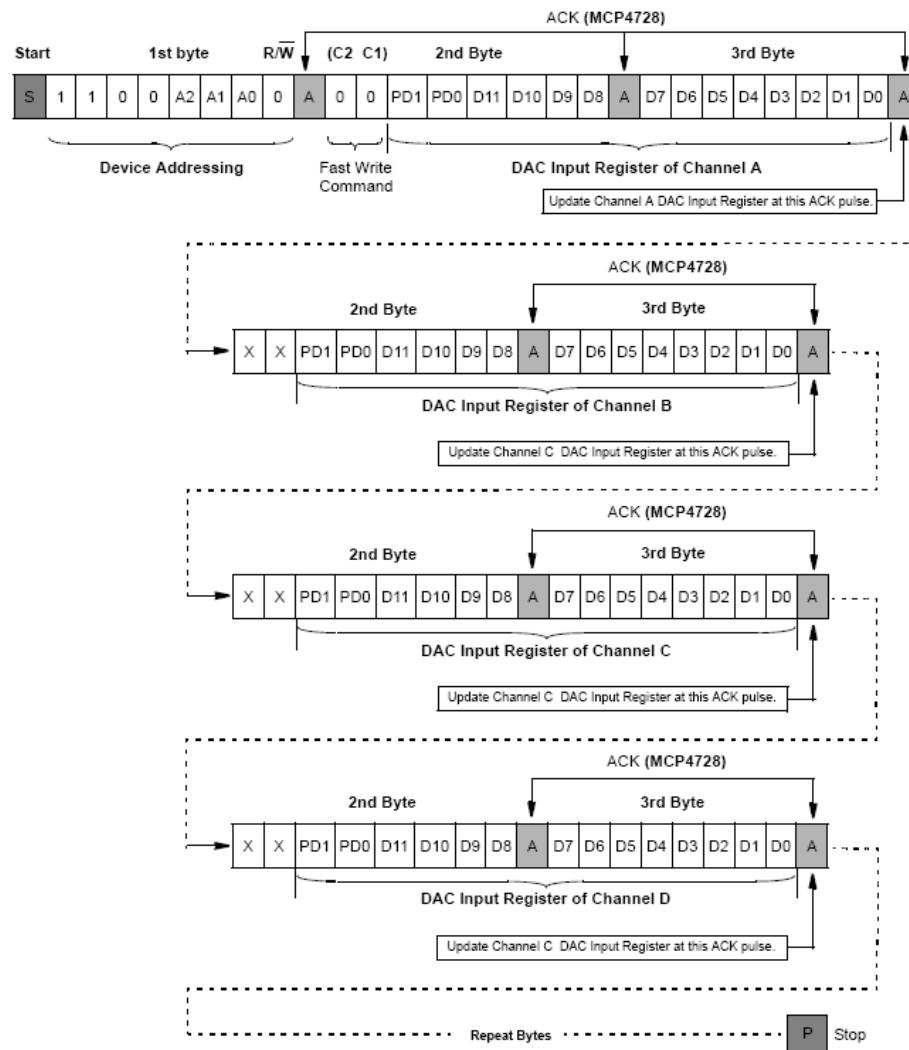
Una vez configurada la dirección I2C como la referencia de tensión ya se puede empezar a escribir en los registros para poner a la salida la tensión. Existen diferentes modos de escritura en los registros de configuración de la salida en el integrado MCP4728: escritura individual en un único registro, escritura en varios registros, escritura en todos los registros, escritura secuencial. En este proyecto sólo se van a hacer uso de la escritura individual y escritura en todos los registros.

Escritura en todos los registros (ver Figura 3.38): a este modo de escritura también se le puede llamar “escritura rápida”. Su elección provoca que se escriba en los registros de manera secuencial empezando por el canal A y terminando por el canal D. Se utilizará para la configuración inicial del conversor.

Los bits *PD1* y *PD0* en cada byte de configuración de cada canal hacen referencia a la resistencia de carga que se puede colocar, internamente en el componente, a la salida. Estas resistencias de carga son: ninguna, 1k $\Omega$ , 100k $\Omega$  o 500k $\Omega$ . No se va a utilizar ninguna resistencia de carga por lo que esos bits tendrán el valor 0 que se el que corresponde a esa opción.

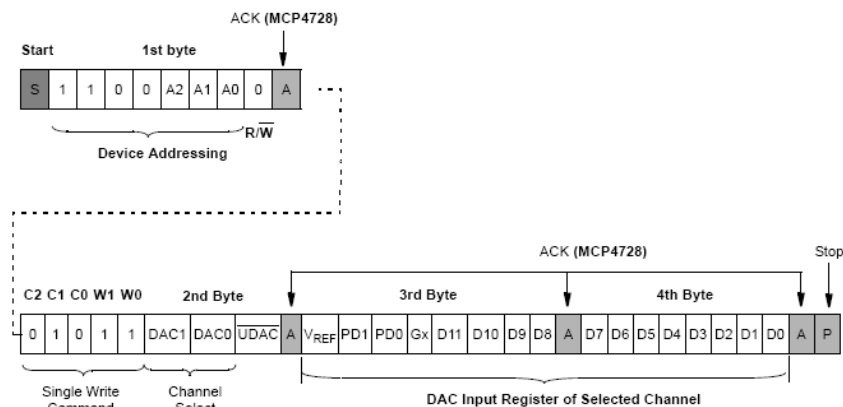
En este modo de escritura, si la línea /LDAC está desde el principio en nivel bajo, las salidas de los canales analógicos se actualizan en el flanco de bajada del pulso de reloj de bit de confirmación del último byte correspondiente a cada canal. Si, por el contrario, la línea /LDAC permanece a nivel alto hasta después del último byte del canal D, todas las salidas analógicas se actualizarán simultáneamente cuando la línea /LDAC pase a nivel bajo en cualquier momento.





**Figura 3.38: Escritura rápida en los registros MCP4728**

Escritura individual (ver Figura 3.39): en este modo de escritura se escribe en único canal del convertidor. El canal a configurar se indica con los bits *DAC1* y *DAC0* del segundo byte.



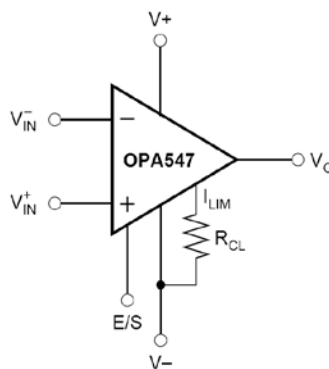
**Figura 3.39: Escritura individual en un registro MCP4728**

La actualización en este modo de escritura se realiza cuando se cumple uno de los siguientes eventos:

- Cuando el pin /LDAC o el bit /UDAC está a nivel bajo.
- Si el bit /UDAC tiene valor alto, el pin /LDAC pasa a nivel bajo en cualquier momento.

▪ Amplificador de potencia OPA547

El integrado OPA547 del fabricante Texas Instruments (Figura 3.40) es un amplificador operacional de alto voltaje y alta corriente que sirve para generar las tensiones de salida de la fuente de alimentación y entregará corriente suficiente a los circuitos conectados hasta un valor de 300mA ampliable hasta los 500mA.

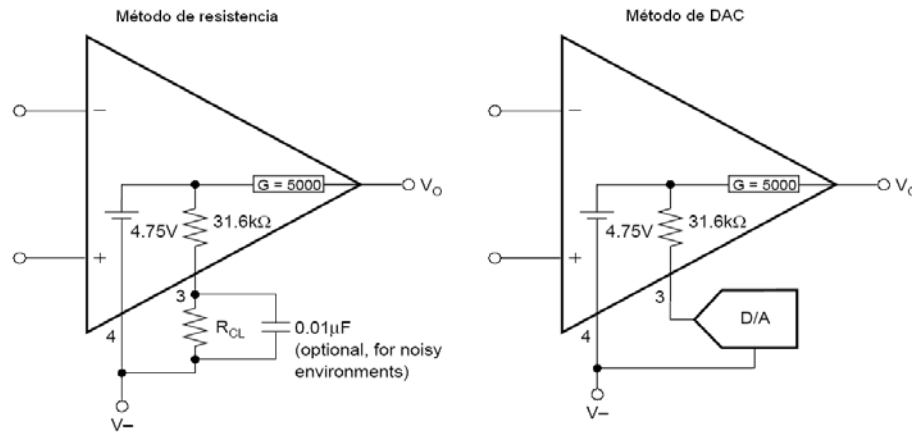


**Figura 3.40: Driver OPA547**

Las características a tener en cuenta de este amplificador son:

- Tensión de alimentación: +8V a +60V o  $\pm 4V$  a  $\pm 30V$ .
- Alta corriente de salida: 500mA en continuo y picos de 750mA.
- Protección contra cortocircuitos.
- Corriente de salida ajustable.
- Alto *slew-rate*: 6V/ $\mu s$

El ajuste de la corriente de salida se consigue con el pin de  $I_{LIM}$ . El valor de corriente máximo deseado se consigue con el valor de la resistencia  $R_{CL}$  (ver Figura 3.41) o también con la tensión de salida de un conversor digital-analógico a la entrada del mismo pin (ver Figura 3.41).



**Figura 3.41: Ajuste corriente salida máxima OPA547**

En este proyecto se ha decidido ajustar la corriente de salida mediante el segundo método, con un conversor digital-analógico, para así poder ajustar dicha corriente desde el software con mayor precisión, además se aprovechan las otras dos salidas de las cuatro que dispone el conversor digital-analógico MCP4728.

Como ya se ha dicho con anterioridad, la corriente máxima que ofrece este amplificador es de 750mA, en este proyecto se va a limitar a un valor de 300mA, valor razonable para el tipo de circuitos a los que esta fuente va a suministrar alimentación. La limitación de corriente mediante la tensión suministrada por el conversor digital-analógico viene dada por la siguiente fórmula:

$$V_{DAC} = (V-) + 4,75V - (31,6k\Omega) \frac{I_{LIM}}{5000}$$

$V_{DAC}$ : Tensión suministra el conversor

$V-$ : Alimentación negativa del OPA547, en este caso -15V

$I_{LIM}$ : Corriente de salida del OPA547.

Con esta ecuación se pueden obtener los valores de tensión que debe entregar el conversor:

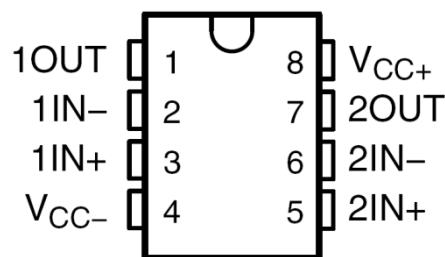
$$\text{Para } I_{LIM} = 0mA \rightarrow V_{DAC} = -10,25V$$

$$\text{Para } I_{LIM} = 300mA \rightarrow V_{DAC} = -12,146V$$

Aquí surge un problema, el convertor digital-analógico solamente puede dar tensiones comprendidas entre 0V y 5V y se necesitan tensiones que, además de ser negativas, tienen valores superiores a 5V. Para solucionar esto se ha optado por incluir dos amplificadores inversores, uno por fuente, y de este modo se puede alcanzar los valores de tensión necesarios para limitar la corriente a los valores escogidos. Para estos amplificadores se ha hecho uso de un solo integrado TL072

- Amplificador doble TL072

En la elaboración de la etapa amplificadora inversora del ajuste de la corriente de salida se va a utilizar el amplificador TL072. El circuito integrado TL072 (ver Figura 3.42) del fabricante Texas Instruments contiene dos amplificadores operacionales.



**Figura 3.42: Amplificador doble TL072**

Este amplificador doble se caracteriza por:

- Bajo consumo.
- Protección contra cortocircuitos.
- Bajo ruido.
- Alta impedancia de entrada.
- Compensación interna de frecuencia.
- Alto *slew rate*

Para hacer el diseño más sencillo no se va a utilizar todo el rango de tensión de salida del convertor MCP4728 (de 0V a 5V) a la tensión requerida para limitar la corriente, sino que se va a ajustar un valor de ganancia y con ella se variará entre un rango de tensión de entrada con el convertor digital-analógico.

$$G = \frac{V_{OP}}{V_{DAC}} = \frac{-12,146V}{5V} = -2,43 V/V$$

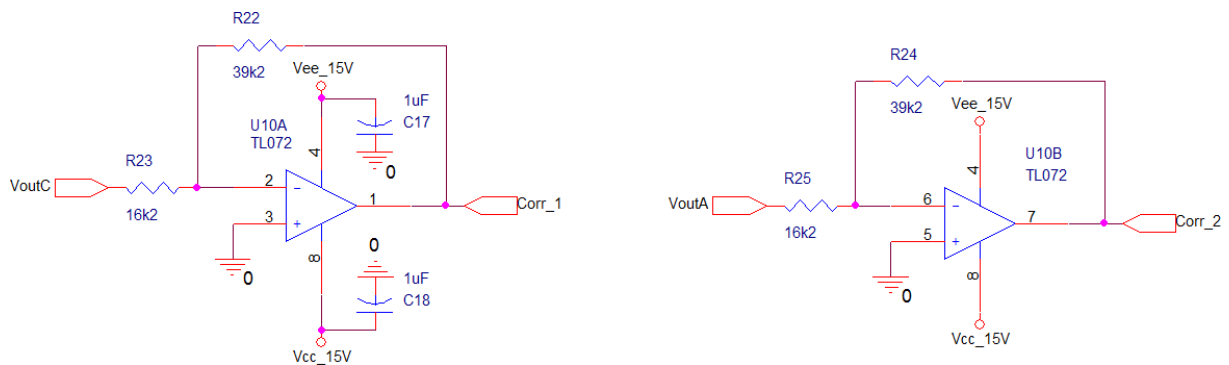
$V_{OP}$ : tensión de salida del operacional

$V_{DAC}$ : tensión que suministra el conversor

Con este valor de ganancia, el valor de tensión de salida del conversor para el otro valor de tensión de limitación de corriente de salida sería:

$$V_{DAC} = \frac{V_{OP}}{G} = \frac{-10,25V}{-2,43} = 4,22V$$

El esquemático de esta parte de la fuente de alimentación se puede ver en la Figura 3.43:



**Figura 3.43: Amplificadores inversores para configuración corriente salida**

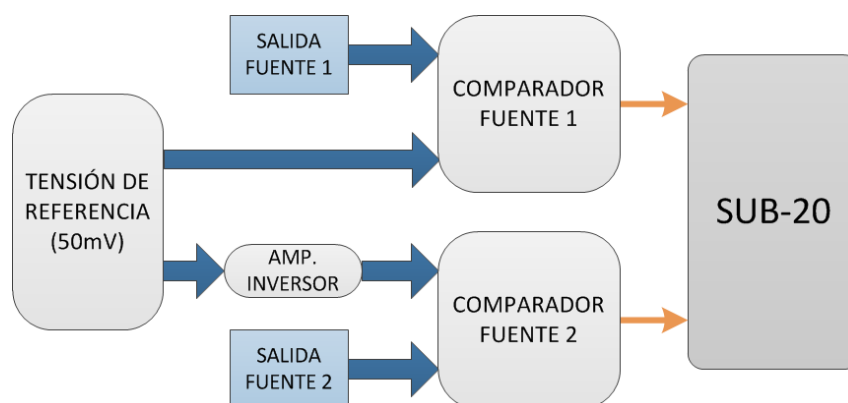
### 3.3.2 Bloque de detector de cortocircuito

Este sub-bloque tiene por objetivo detectar que ha habido cortocircuito cuando en alguna de las dos salidas hay una tensión menor que 50mV. Dado que los saltos mínimos de tensión a la salida son de 100mV la tensión más baja que se pueda poner a la salida son estos 100mV, por lo que este umbral de 50mV para detectar cortocircuito debería ser suficiente.

Su funcionamiento es el siguiente, cuando la tensión de alguna de las fuentes cae por debajo de 50mV, se detecta como cortocircuito debido a que los saltos mínimos de tensión a la salida son de 100mV. Una vez detectado el cortocircuito se procede al aviso de éste y al apagado de la fuente por software para evitar posibles

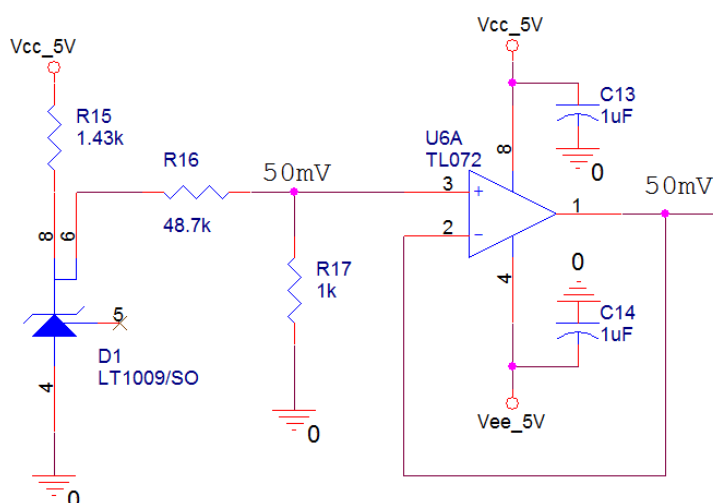
problemas por daños en los componentes.

Como se puede ver en la Figura 3.44, el detector de cortocircuito dispone de una tensión de referencia de 50mV y dos comparadores, uno por cada salida de la fuente de alimentación. También incluye un amplificador en modalidad inversora de ganancia 1 para la fuente 2 y de esta manera detectar cortocircuito cuando saque por dicha fuente tensiones negativas.



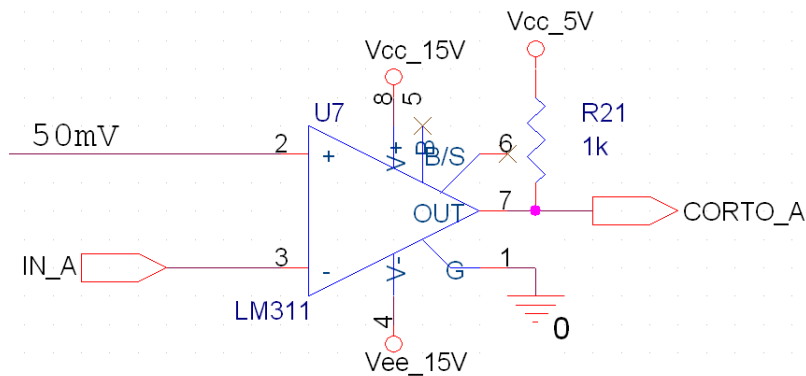
**Figura 3.44: Diagrama detector de cortocircuito**

Se ha utilizado la referencia de tensión LT1009 para alcanzar el nivel de 50mV, sin embargo la tensión de referencia LT1009 da un valor de 2.5V, para conseguir el nivel de tensión requerido se ha optado por colocar un divisor resistivo de atenuación 0,02. A la salida del divisor resistivo se pone un amplificador operacional en configuración seguidor de tensión para aislar impedancias (ver Figura 3.45).



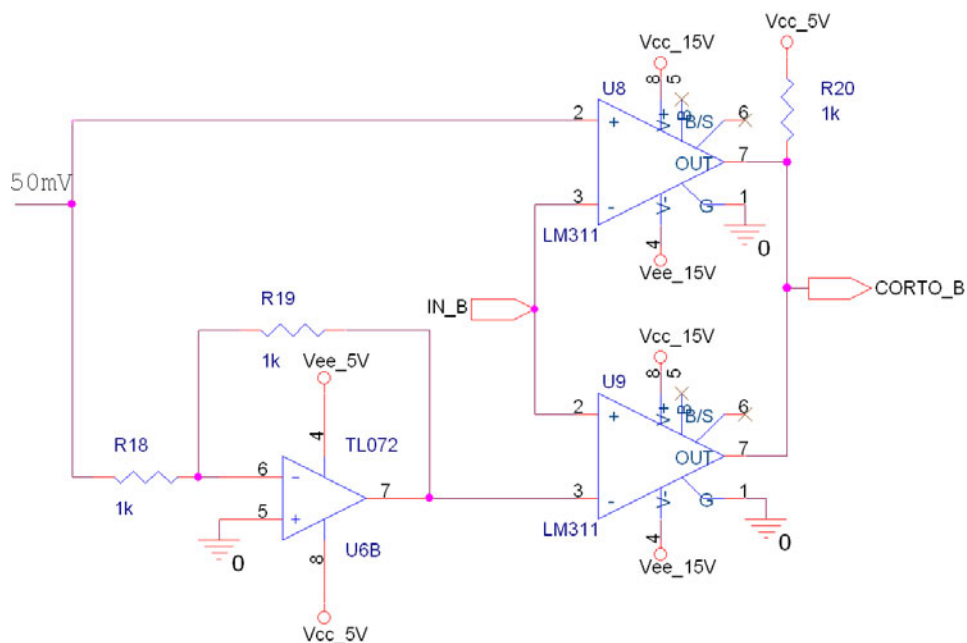
**Figura 3.45: Esquemático referencia de tensión de 50mV**

Para detectar si ha habido cortocircuito en la salida de la fuente 1 se compara por un lado la tensión de 50mV con la tensión de salida de la fuente de alimentación mediante un comparador LM311 (ver Figura 3.46). Si la tensión de la salida es inferior al valor de referencia de 50mV, la salida del comparador se activa, en caso contrario permanece a nivel bajo.



**Figura 3.46: Esquemático comparador LM311 Fuente 1**

Sin embargo, para la fuente 2 es un poco más complicado debido a que esta salida puede tomar valores tanto positivos como negativos. Para solucionarlo en lugar de un único comparador se va a colocar dos de modo que configuren un 'detector de ventana' (Ver Figura 3.47), donde por un lado se van a introducir los valores de referencia de 50mV y -50mV, ayudado por el amplificador inversor, y por el otro la salida de la fuente 2.



**Figura 3.47: Detector de ventana con dos LM311 Fuente 2**

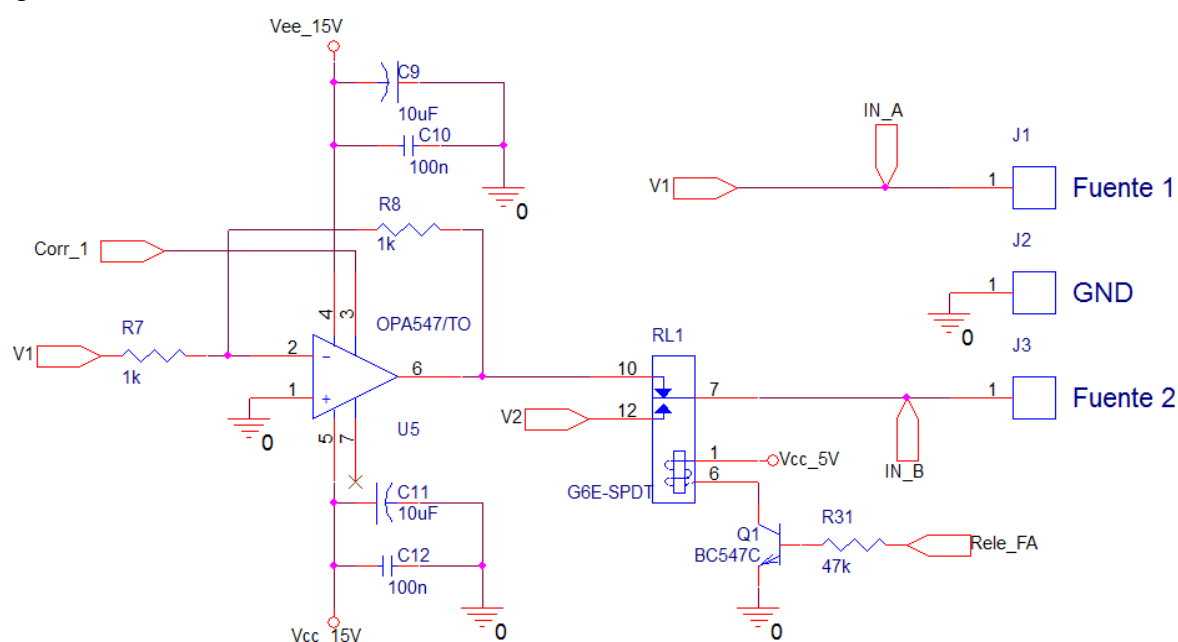
Quando la tensión de la salida de la fuente 2 está comprendida en -50mV y 50mV (cortocircuito) la salida *CORTO\_B* pasa a nivel alto, en caso contrario permanece a nivel bajo.

### 3.3.3 Bloque salidas de la fuente

En este apartado se va a detallar la salida de las tensiones hacia el exterior del módulo. Para la salida de la fuente 1 no hay que añadir ningún hardware adicional, la salida del amplificador OPA547T está directamente unida al conector correspondiente de la fuente 1. Sin embargo, esto cambia para la fuente 2.

A la salida de la fuente 2 puede haber tanto tensiones positivas como negativas (para una fuente de alimentación dual). Esta duplicidad a la salida de la fuente 2 se consigue mediante un amplificador en configuración inversora de ganancia 1 y un relé SPDT para poder escoger entre la salida negativa o la salida positiva. Si se elige la salida negativa las dos salidas de la fuente de alimentación tendrían la misma tensión pero de signos opuestos, por el contrario si se elige la salida positiva las dos fuentes podrían tener valores diferentes pero del mismo signo.

El esquemático de esta parte del módulo de la fuente de alimentación es el de la Figura 3.48:

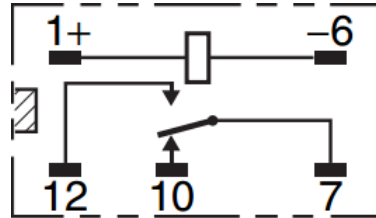


**Figura 3.48: Esquemático salidas Fuente de Alimentación**



- Relé SPDT

Este relé SPDT es el modelo G6E-134P del fabricante Omron. La configuración de los contactos se puede observar en la Figura 3.49:



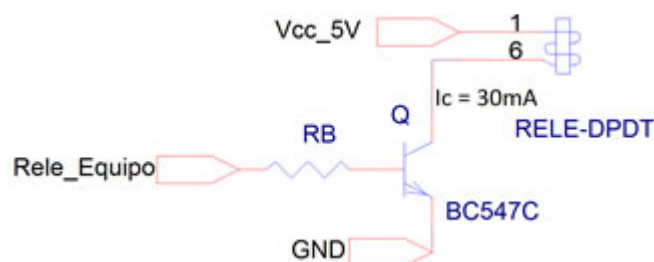
**Figura 3.49: Conexiones internas relé G6E-SPDT**

Las características del relé se muestran en la tabla 3.5 resaltando en amarillo el modelo escogido:

Tensión nominal	3 VDC	5 VDC	6 VDC	9 VDC	12 VDC	24 VDC	48 VDC
Corriente nominal	66.7 mA	40 mA	33.3 mA	22.2 mA	16.7 mA	8.3 mA	8.3 mA
Resistencia de la bobina	45 $\Omega$	125 $\Omega$	180 $\Omega$	405 $\Omega$	720 $\Omega$	2880 $\Omega$	5760 $\Omega$
Inductancia de la bobina	Inducida		0.08	0.18	0.31	0.62	1.20
(H) (valor ref.)	No inducida		0.06	0.17	0.24	0.50	0.99
Tensión de operación necesaria	70% del máximo de la tensión nominal						
Tensión de liberación necesaria	10% del mínimo de la tensión nominal						
Tensión máxima	155% de la tensión nominal a 50°C, 130% a 70°C						140% de la tensión nominal a 50°C, 115% a 70°C
Consumo de potencia	200 mW apróx.						400 mW apróx.

**Tabla 3.5: Características eléctricas relé G6E-134P**

Las señales provenientes de la tarjeta SUB-20 no suministran suficiente corriente para la activación de los relés, ni aún con un opto-acoplador de por medio. Para poder activar los relés con esas señales se hace uso de un transistor trabajando en corte o en saturación de la manera en la que se muestra en la Figura 3.50.



**Figura 3.50: Esquemático activación relé**

Los transistores utilizados son los BC547C, con sus correspondientes resistencias de base (RB). La corriente necesaria para poder activar el relé es  $I_C = 30\text{mA}$ . Este modelo de transistor presenta las características mostradas en la tabla 3.6:

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS** ( $T_{\text{case}} = 25^\circ\text{C}$  unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$I_{CBO}$	Collector Cut-off Current ( $I_E = 0$ )	$V_{CB} = 30\text{ V}$ $V_{CB} = 30\text{ V}$ $T_C = 150^\circ\text{C}$			15 5	nA $\mu\text{A}$
$I_{EBO}$	Emitter Cut-off Current ( $I_C = 0$ )	$V_{EB} = 5\text{ V}$			100	nA
$V_{(BR)CEO}^*$	Collector-Emitter Breakdown Voltage ( $I_B = 0$ )	$I_C = 10\text{ mA}$	45			V
$V_{CE(sat)}^*$	Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_C = 10\text{ mA}$ $I_B = 0.5\text{ mA}$ $I_C = 100\text{ mA}$ $I_B = 5\text{ mA}$		0.09 0.2	0.25 0.6	V V
$V_{BE(sat)}^*$	Base-Emitter Saturation Voltage	$I_C = 10\text{ mA}$ $I_B = 0.5\text{ mA}$ $I_C = 100\text{ mA}$ $I_B = 5\text{ mA}$		0.7 0.9		V V
$V_{BE(on)}^*$	Base-Emitter On Voltage	$I_C = 2\text{ mA}$ $V_{CE} = 5\text{ V}$ $I_C = 10\text{ mA}$ $V_{CE} = 5\text{ V}$	0.58	0.66	0.7 0.77	V V
$h_{FE}$	DC Current Gain	$I_C = 2\text{ mA}$ $V_{CE} = 5\text{ V}$ for <b>BC547B</b> for <b>BC547C</b>	200 420		450 800	
$f_T$	Transition Frequency	$I_C = 10\text{ mA}$ $V_{CE} = 5\text{ V}$ $f = 100\text{MHz}$	100			MHz
$C_{CBO}$	Collector-Base Capacitance	$I_E = 0$ $V_{CB} = 10\text{ V}$ $f = 1\text{ MHz}$		1.5		pF
$C_{EBO}$	Emitter-Base Capacitance	$I_C = 0$ $V_{EB} = 0.5\text{ V}$ $f = 1\text{ MHz}$		11		pF
NF	Noise Figure	$V_{CE} = 5\text{ V}$ $I_C = 200\text{ }\mu\text{A}$ $f = 1\text{ KHz}$ $\Delta f = 200\text{ Hz}$ $R_G = 2\text{ K}\Omega$		2	10	dB

\* Pulsed: Pulse duration = 300  $\mu\text{s}$ , duty cycle  $\leq 2\%$

**Tabla 3.6: Características eléctricas del transistor BC547C**

El cálculo para hallar la resistencia de base necesaria se detalla a continuación, se ha utilizado  $\beta = h_{FE}$  mínima:

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{40\text{ mA}}{420} = 95,24\mu\text{A}$$

$$R_B = \frac{V_{\text{Rele\_Equipo}}}{I_B} = \frac{5\text{V}}{95,24\mu\text{A}} = 52,5\text{k}\Omega$$

En este caso al tener que circular más corriente por la bobina del relé, la corriente de base que se necesita para pasar de corte a saturación al transistor es también mayor por lo que la resistencia de base es menor. El valor de la resistencia de base que se escogido es de  $47\text{k}\Omega$  por las mismas razones que antes.

### 3.4 Módulo Generador de Señal

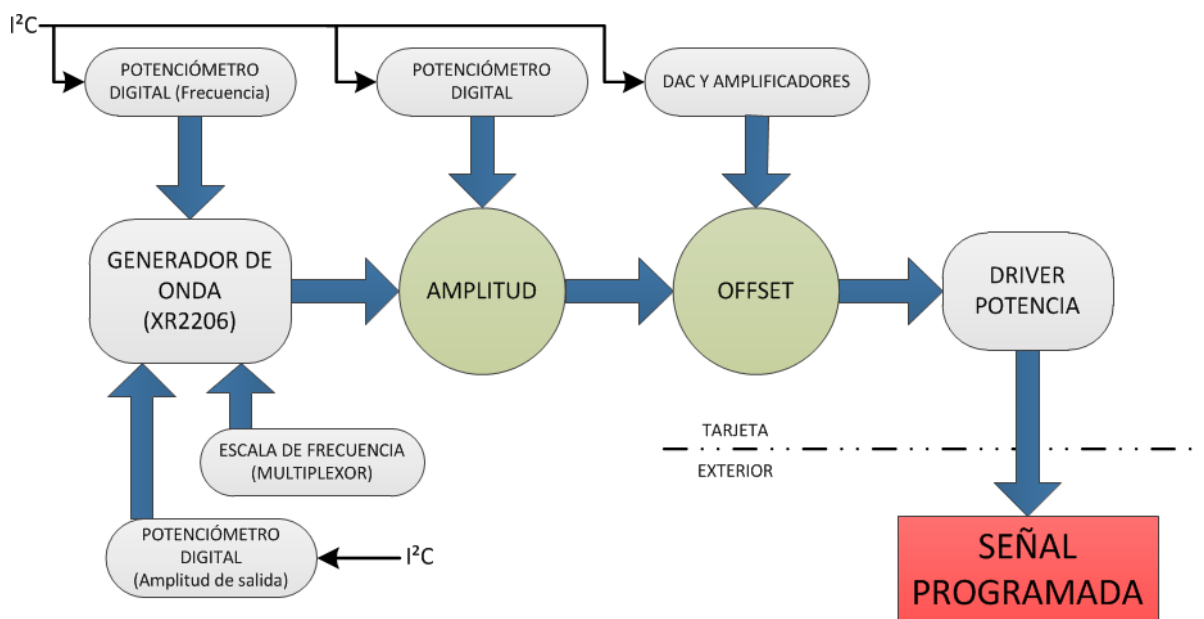
Este módulo es el destinado a implementar un generador de funciones. En cuanto a los parámetros que se pueden configurar de una señal son: amplitud, frecuencia, *offset* y el tipo de señal

La generación de la señal básica es gracias al circuito integrado XR-2206, que con la ayuda de componentes externos se consigue la amplitud, frecuencia y la forma de onda deseada.

La salida final de este bloque se tiene que adecuar a las necesidades requeridas por el usuario por tanto es indispensable la inclusión de amplificadores con ganancia variable y sumadores a parte del integrado XR-2206. Con estos componentes se tienen las siguientes especificaciones:

- Rango de frecuencia: 0,01Hz-300 kHz.
- Amplitud de 10V.
- Offset de salida de  $\pm 5V$
- Forma de onda: triangular, cuadrada o sinusoidal.

En la Figura 3.51 se muestra el diagrama de bloques del generador de funciones.



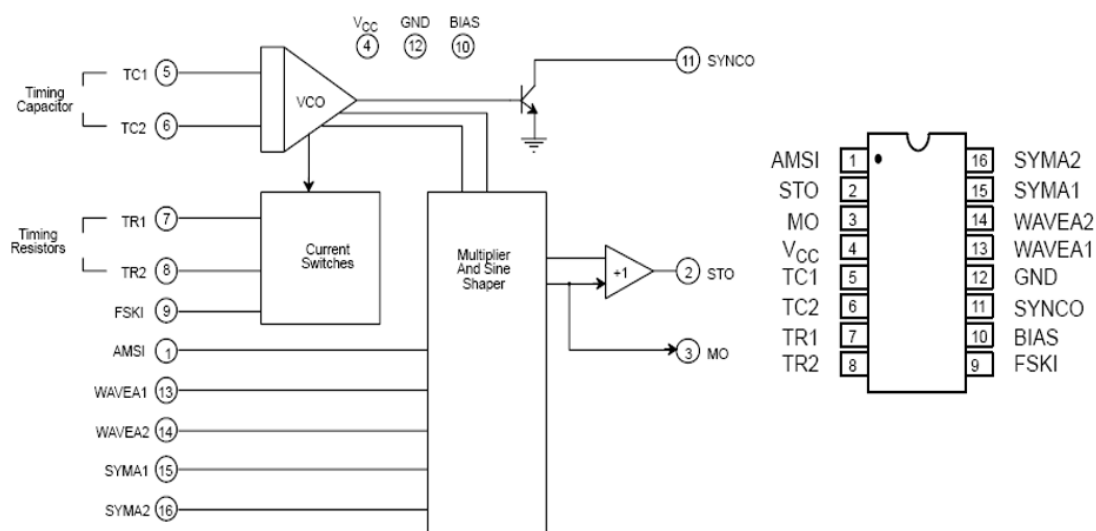
**Figura 3.51: Diagrama de bloques Generador de Funciones**

### 3.4.1 Bloque Generador de funciones

Este bloque incluye el integrado XR2206, un multiplexador analógico ADG1408 para la selección de escala de frecuencia y dos potenciómetros digitales incluidos en el integrado AD5254, uno para el ajuste de frecuencia y el otro para la configuración de la amplitud de salida de las señales sinusoidal y triangular.

El circuito integrado XR2206 de Exar (Figura 3.52) es un generador de funciones programable capaz de crear diferentes tipos de ondas con amplitud y frecuencia variable. Sus características destacables son:

- Rango de frecuencia de funcionamiento seleccionable de 0,01Hz hasta 1MHz.
- Forma de onda seleccionable entre triangular, cuadrada, sinusoidal, diente de sierra y pulsos.
- Ciclo de trabajo ajustable entre 1% y 99%.
- Bajo coeficiente de temperatura: 20ppm/°C.
- Baja distorsión.

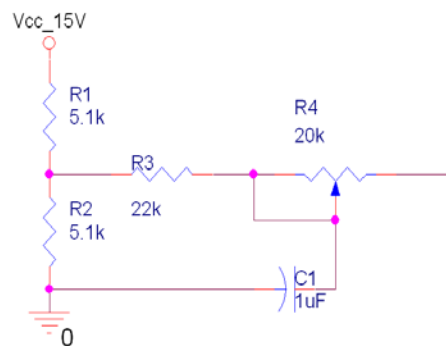


**Figura 3.52: Diagrama de bloques y pines del XR2206**

Para poder configurar la frecuencia se coloca un condensador entre los pines 5 y 6 para elegir el rango de frecuencias y una resistencia para el ajuste fino en el pin 7. El pin 11 es la salida de la señal cuadrada, esta salida está en colector abierto y necesita una resistencia en pull-up. El pin 2 es la salida de las señales triangular y

sinusoidal, se elige una u otra poniendo o quitando (con ayuda de un relé) una resistencia de  $200\Omega$  entre los pines 13 y 14 (con la resistencia sinusoidal, sin ella triangular).

Otro detalle a tener en cuenta es que, por defecto, la amplitud de la señal triangular es casi tres veces mayor que la señal sinusoidal. Esto se arregla variando el potenciómetro mostrado en la Figura 3.53 conectado en el pin 3.



**Figura 3.53: Detalle ajuste frecuencia señal sinusoidal y triangular**

El potenciómetro R4 de la figura anterior es en realidad un potenciómetro digital. Para conseguir una amplitud de salida de un 1V tanto en la señal sinusoidal como en la triangular, los valores del potenciómetro tienen que ser de  $7,53k\Omega$  para la sinusoidal y  $2,6k\Omega$  para la triangular.

### Frecuencia

Para elegir la frecuencia deseada con el integrado XR2206 se hace uso de un condensador entre los pines 5 y 6, para escoger el rango de frecuencia, y una resistencia entre el pin 7 y masa para ajustar el valor de la frecuencia dentro del rango escogido anteriormente con el condensador.

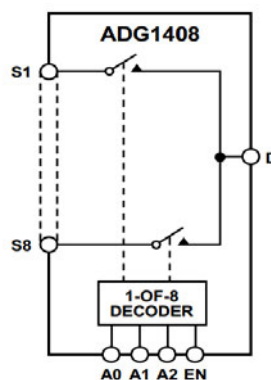
La expresión de la frecuencia es la siguiente,

$$f = \frac{1}{RC}$$

Por tanto, si se quiere una frecuencia de, por ejemplo, 1,5kHz, primero se necesitará elegir el condensador correspondiente que dé el rango de frecuencias que comprenda kilohercios y acto seguido el valor de resistencia que dé ese valor de frecuencia.

#### ▪ Multiplexor analógico ADG1408

Para poder elegir los diferentes rangos de frecuencia se necesitan diferentes valores de condensadores entre los pines 5 y 6 del generador de funciones XR2206. Como en éste sólo se puede elegir un condensador, se llevará a cabo una multiplexación de los diferentes valores de los condensadores entre los pines anteriormente mencionados. Esto se conseguirá con la ayuda del multiplexor analógico ADG1408 de Analog Devices (Figura 3.54) y seis condensadores. Este multiplexor tiene alimentación bipolar y una resistencia muy baja.



**Figura 3.54: Multiplexador ADG1408**

Sus características principales son:

- Entradas compatibles con lógica a 3V.
- 8 entradas (S1..S8) y una salida común (D).
- Alimentación unipolar (+5V) o bipolar ( $\pm 5V$  u  $\pm 15V$ ).
- Ancho de banda a -3dB de 60MHz.
- Resistencia máxima del canal en ON de 6,7 $\Omega$  y típico de 4 $\Omega$ .
- Operación Rail-to-rail
- Corriente máxima en continua de 190mA.

En cuanto al funcionamiento, responde a la tabla de verdad mostrada en la tabla 3.7:

A2	A1	A0	EN	En conmutación
X	X	X	0	Nada
0	0	0	1	1
0	0	1	1	2
0	1	0	1	3
0	1	1	1	4
1	0	0	1	5
1	0	1	1	6
1	1	0	1	7
1	1	1	1	8

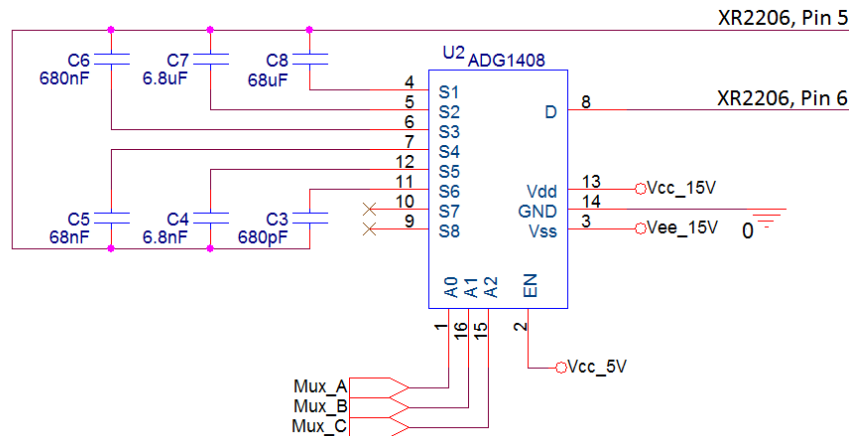
**Tabla 3.7: Tabla de verdad multiplexador ADG1408**

Para seleccionar los diferentes valores de condensadores que hay en sus entradas S1-S6, se hace uso de las entradas A0, A1 y A2 (pines 1, 16 y 15, respectivamente). De esta forma se obtienen los diferentes rangos de frecuencia en función de la elección de la entrada y, por tanto, del condensador conforme a la tabla 3.8.

A2	A1	A0	Condensador	Rango de frecuencias
0	0	0	680 pF	138,6 kHz -- 2,49 MHz
0	0	1	6,8 nF	13,86 kHz -- 249,25 kHz
0	1	0	68 nF	1,38 kHz -- 24,95 kHz
0	1	1	680 nF	138 Hz -- 2,49 kHz
1	0	0	6,8 uF	13,86 Hz -- 249,25 Hz
1	0	1	68 uF	1,39 Hz -- 24,92 Hz
1	1	0	--	----
1	1	1	--	----

**Tabla 3.8: Valores de condensadores y su rango de frecuencia**

El esquemático del multiplexor con los condensadores se muestra en la Figura 3.55:

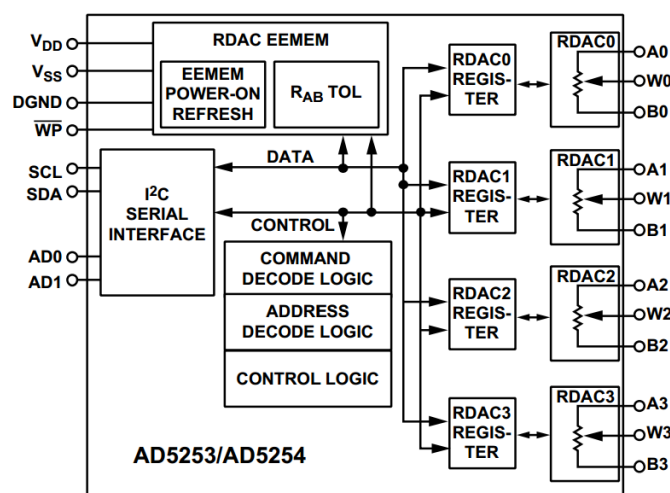


**Figura 3.55: Esquemático multiplexador ADG1408**

▪ Potenciómetro digital AD5254

Este potenciómetro cuádruple de 10kΩ (Figura 3.56) tiene múltiples funciones dentro del generador de señal:

- Ajuste fino de la frecuencia.
- Ajuste de la amplitud de salida de las señales triangular y sinusoidal del XR2206.
- Ajuste de la ganancia de la señal final.



**Figura 3.56: Diagrama de bloques potenciómetro AD5254**

La forma configurar los distintos potenciómetros es mediante las líneas SCL y SDA del bus I<sup>2</sup>C, para escoger los valores de las resistencias entre 0 y 10kΩ en saltos de  $10k/255 = 39\Omega$ , y las líneas AD0 y AD1 para elegir el potenciómetro



adecuado, quedando como se muestra en la tabla 3.9 la función de cada potenciómetro:

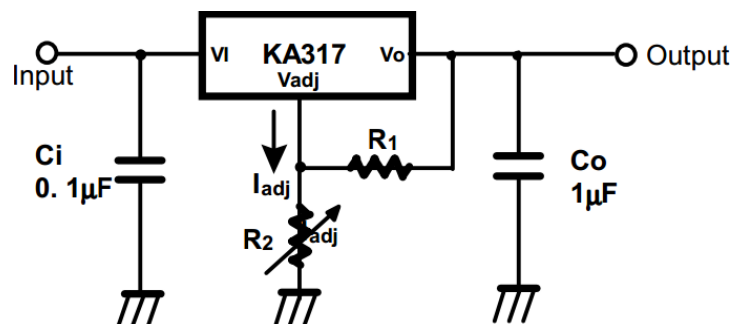
AD1	AD0	Potenciómetro	Función
0	0	RADC0	Ajuste de frecuencia
0	1	RADC1	Ajuste de amplitud
1	0	RADC2	Ganancia
1	1	RADC3	----

**Tabla 3.9: Función de cada potenciómetro digital AD5254**

El potenciómetro RDAC2 que controla la ganancia de la señal necesita poder soportar tensiones negativas, para ello el circuito integrado se tiene que alimentar con una tensión de  $\pm 2,5V$ . Esto se consigue a partir de las tensiones de alimentación de  $\pm 5V$  ayudándose de reguladores variables KA317TU para la alimentación positiva y KA337TU para la negativa.

- Regulador de tensión variable KA317TU

Este regulador puede variar su salida con componentes discretos entre 1,2V y 37V con una corriente de 1,5A. Al igual que ocurre con los otros reguladores lineales de salida fija que se utilizaban en el bloque de alimentación (ver Apartado 3.2 – Placa Base - Bloque de Alimentación) las principales características son protección contra cortocircuito y protección interna por exceso de temperatura. La configuración de los componentes se muestra en la Figura 3.57.



**Figura 3.57: Regulador ajustable KA317**

El ajuste de la señal de salida corresponde con la expresión:

$$V_o = 1,25V \left( 1 + \frac{R_1}{R_2} \right) + I_{adj} R_2$$

Según las hojas de características la corriente  $I_{adj}$  está limitada a menos de  $100\mu A$ , por lo que el error asociado a este término es despreciable. Por tanto, para obtener a la salida una tensión de  $2,5V$  a partir de una de  $5V$  las resistencias  $R_1$  y  $R_2$  deben de ser iguales ( $10k\Omega$ , en este diseño).

#### ▪ Regulador de tensión variable KA337TU

Este regulador es el análogo al KA317TU (Figura 3.58) para tensiones negativas. El rango de tensiones de salida varía esta vez entre  $-1,2V$  y lo  $-37V$  con una corriente igual que el anterior de  $1,5A$ . Presenta las mismas características que el KA317TU.

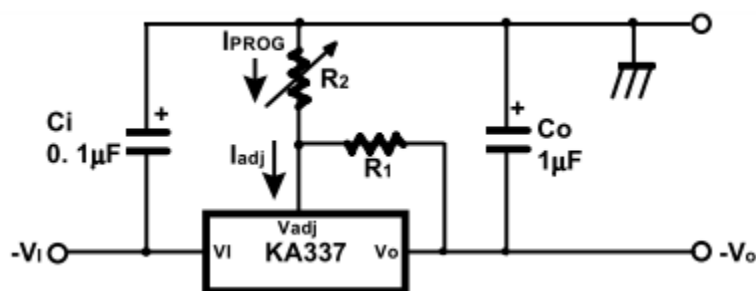


Figura 3.58: Regulador ajustable KA337

La expresión de la tensión de salida es similar a la anterior:

$$V_o = -1,25V \left( 1 + \frac{R_1}{R_2} \right)$$

Por lo que para conseguir una tensión a la salida de  $-2,5V$  las resistencias  $R_1$  y  $R_2$  tienen que volver a ser del mismo valor ( $10k\Omega$  en este diseño).

### 3.4.2 Ajuste de la amplitud

El integrado generador de funciones XR2206 permite configurar la amplitud de las señales triangulares y sinusoidales mediante el valor de la resistencia entre el pin 3 y masa. Sin embargo, para la señal cuadrada es más difícil ajustar la amplitud debido a que la salida de esta señal necesita una resistencia de *pull-up*. Para que la amplitud se pueda ajustar de la misma manera para todas las formas de onda, se ha decidido hacerlo mediante amplificadores.

La configuración de la amplitud solicitada se hace en dos pasos, con dos amplificadores en modo inversor. El primer amplificador tiene una ganancia variable de hasta 2, con lo que se consigue una amplitud máxima de 2V. La ganancia variable se logra con uno de los potenciómetros del AD5254. La razón por la que se amplifica la señal hasta un máximo de  $\pm 2V$  es por la alimentación máxima del potenciómetro digital que es de  $\pm 2.5V$ .

El segundo amplificador es de ganancia fija de 5, con esto se alcanza la amplitud máxima de  $\pm 10V$ . El circuito para el ajuste total de la ganancia se ve en la Figura 3.59

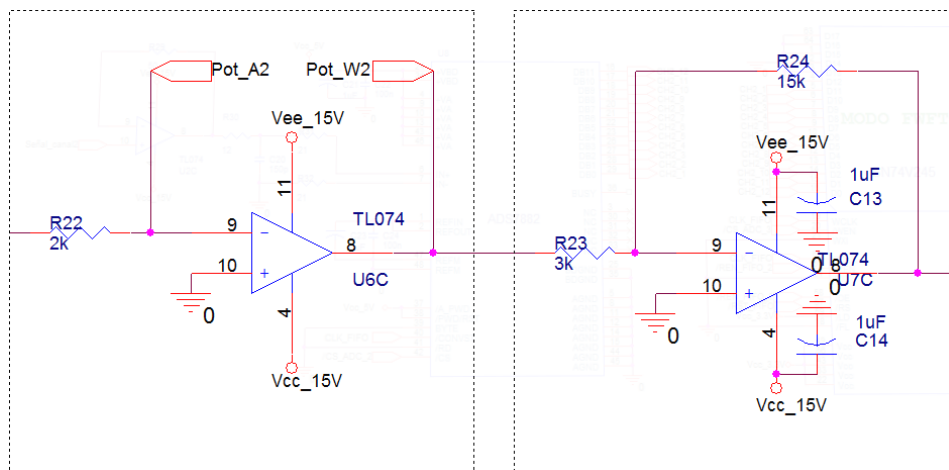


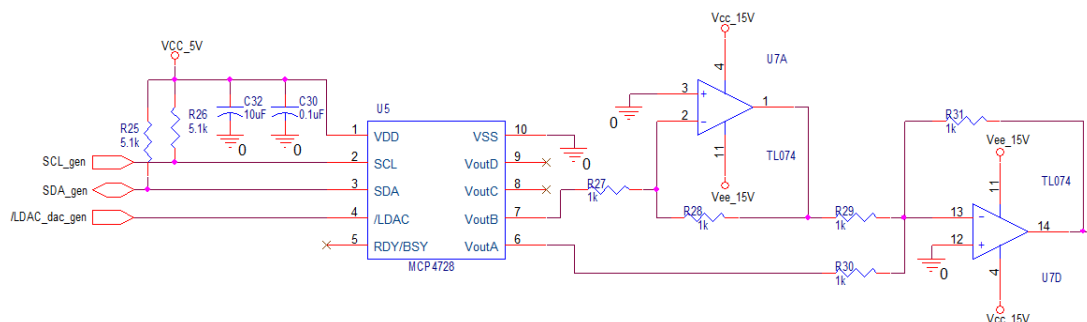
Figura 3.59: Amplificadores para Ganancia

### 3.4.3 Ajuste del *offset*

La tensión continua u *offset* puede alcanzar valores desde -5 V hasta 5 V. La manera de conseguir es mediante dos de las cuatro salidas disponible del conversor

digital-analógico MCP4728 que ya se utilizó en el módulo Fuente de Alimentación. (Ver **Capítulo 3.3 – Fuente de Alimentación**). Una de las salidas se utiliza para valores de *offset* positivo y la otra para los valores negativos, esta última con ayuda de un amplificador en modo inversor (ver Figura 3.60).

Estas dos tensiones se suman, teniendo en cuenta que por programa se configura de modo que cuando la tensión de *offset* es positiva, por la salida que proporciona la negativa es cero y viceversa.



**Figura 3.60: Ajuste de offset**

### 3.4.4 Procesamiento de la señal

Las señales que genera el generador de funciones XR2206 presentan distintos *offset*: 2,5V en el caso de la señal sinusoidal/triangular y 0,5V en el caso de la señal cuadrada. Antes de seguir se restarán esos valores de tensión a las señales correspondientes con amplificadores en modo restador. La tensión de 2,5V se consigue con un divisor resistivo con la alimentación de +15V como entrada seguido de un seguidor de tensión. Y para la tensión de 0,5V, se utilizará la tensión de referencia LT1009 de 2,5V, un divisor de tensión de atenuación de 0,2V y un seguidor de tensión.

Al tener dos señales distintas es necesario elegir cuál de las dos es la que requiere el usuario, esto fácil de hacer con relé SPDT. Así, junto con el relé que escoge entre la señal triangular o sinusoidal y este relé, se obtienen las tres formas de onda: triangular, sinusoidal y cuadrada.

Una vez escogida la forma de la onda, el siguiente paso es elegir la amplitud de la señal final. Primero se amplifica la señal hasta un valor máximo de 2V para luego

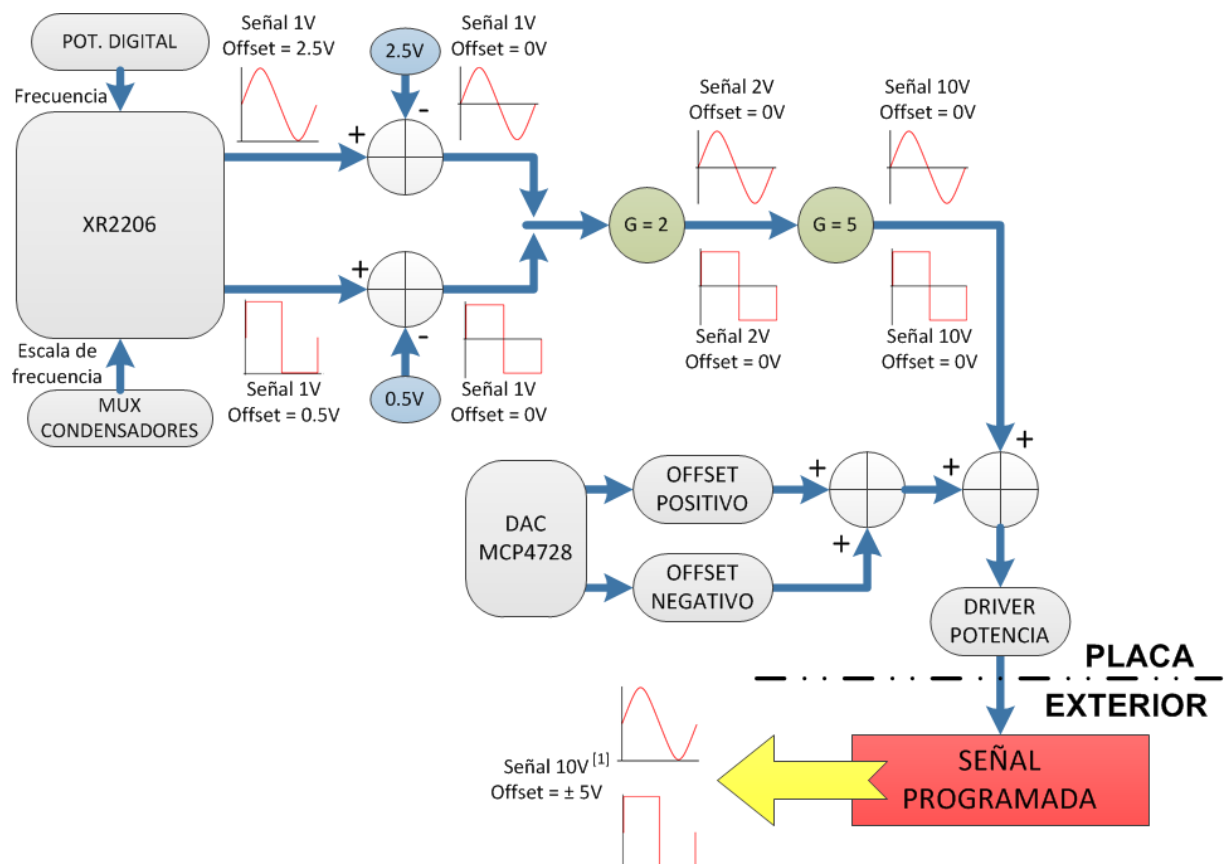
volver hacer una amplificación de ganancia 5. El motivo de amplificar la señal en dos partes ya se mencionó en el **Capítulo 3.4.2 – Ajuste de la Amplitud**.

Una vez que ya se tiene el tipo de señal, la frecuencia y la amplitud deseada, el siguiente paso es añadirle offset. El valor del offset puede ser tanto positivo como negativo. Hay que tener en cuenta que el valor de pico de la señal resultante no puede superar el valor de saturación de los amplificadores utilizados, por tanto la tensión máxima será de un 13V.

El último paso que queda es sumar con ayuda de un amplificador en configuración sumador la onda y la tensión de offset. Con esto ya se tiene una señal del tipo, frecuencia, amplitud y offset deseado por el usuario.

Antes de que la señal salga al exterior se añade el driver de potencia OPA547 en modo seguidor de tensión para suministrar la corriente necesaria.

En la siguiente figura se muestra todo el proceso de manera esquemática.



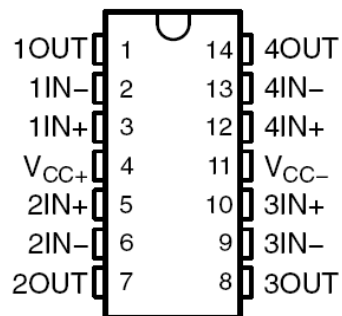
**Figura 3.61: Evolución de la señal Generador de Funciones**

[1] La tensión máxima no puede superar el valor de saturación de los amplificadores

Todos los amplificadores y sumadores utilizados en este módulo han sido contruidos con el integrado TL074.

- Amplificador operacional TL074

El circuito integrado TL074 (Figura 3.62) de Texas Instruments contiene cuatro amplificadores operacionales de bajo ruido, bajo consumo y alto ancho de banda. Este integrado pertenece a la misma familia que el TL072, con la diferencia de que incorpora en un mismo chip cuatro operacionales en lugar de dos.



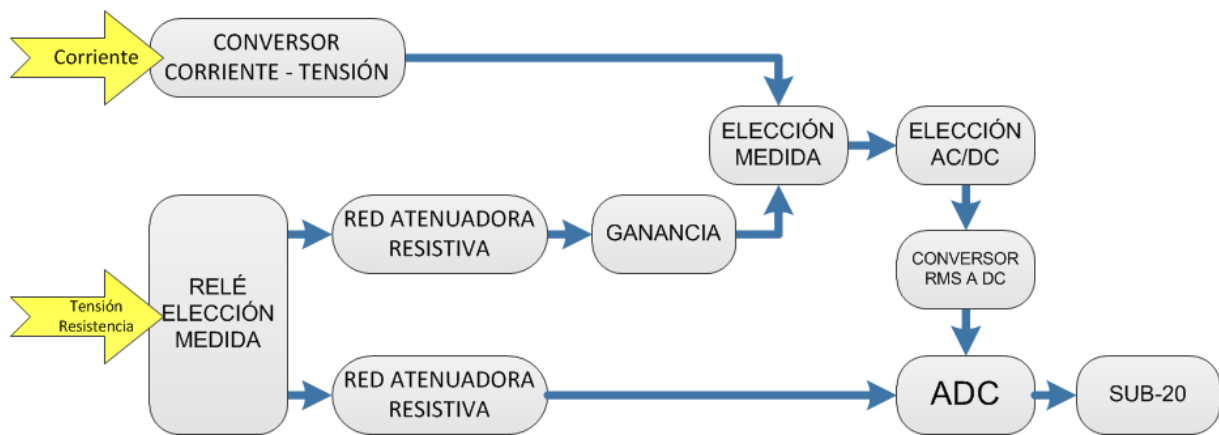
**Figura 3.62: Amplificador cuádruple TL074**

## 3.5 Módulo Multímetro

Con este módulo se pueden realizar las siguientes medidas:

- Tensión.
- Corriente.
- Resistencia.
- Comprobación de continuidad.

La Figura 3.63 muestra el diagrama de bloques de este módulo en el que se pueden ver las entradas disponibles y las acciones que se realizan sobre ellas.



**Figura 3.63: Diagrama de bloques del multímetro**

Este módulo consta de tres entradas, una para el amperímetro, la segunda es la entrada común y la última la que permita medir tensión y resistencia. Para poder escoger entre una medida u otra se utiliza un relé DPDT con el cual se elige entre la entrada de corriente y la entrada de tensión.

A continuación se explican los tipos de medidas, limitaciones y los componentes utilizados para cada tipo de medida.

### 3.5.1 Medida de tensión

La entrada de la medida de tensión es la misma que la de medida de resistencia al igual que en los multímetros comerciales. El rango de tensión que se

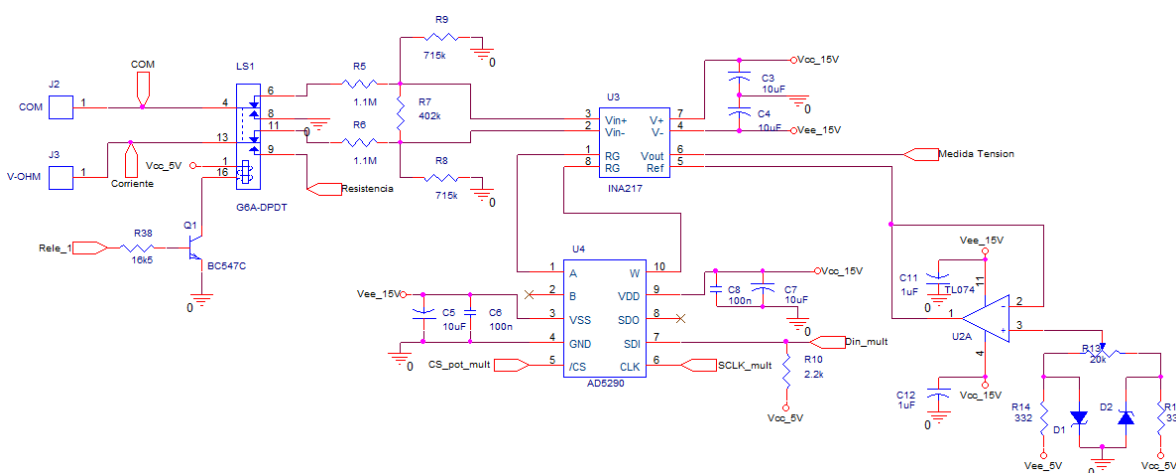
puede medir es de  $\pm 20V$ . Para escoger entre medida de tensión y de resistencia se utiliza un relé DPDT.

- Procesamiento de la señal

La tensión entrante en los conectores V-OHM y COM es atenuada entre 8 con la red atenuadora resistiva formada por las resistencias R5, R6, R7, R8 Y R9. Esta misma configuración se utiliza en la etapa de entrada del módulo osciloscopio (Ver **Capítulo 3.6 - Módulo Osciloscopio**).

Una vez se tenga la señal de entrada atenuada, pasa por un amplificador de instrumentación INA217. Este amplificador también sirve para controlar la ganancia en la señal en el caso de que ésta sea muy pequeña.

El esquemático de esta parte del módulo se muestra en la Figura 3.64.



**Figura 3.64: Entrada medida tensión Multímetro**

El integrado U4 de la figura 3.64 es un potenciómetro digital de 10k $\Omega$  que sirve para ajustar la ganancia del amplificador de instrumentación y así tener más rango para valores pequeños en la tensión de entrada. Y el amplificador en modo seguidor de tensión unido al pin 5 del amplificador de instrumentación sirve para el ajuste del *offset* para intentar reducir el error producido por dicha tensión de *offset*.

El siguiente paso es diferenciar entre una medida en continua o alterna, esto se hace con dos filtros pasivos, uno de baja frecuencia para la medida en alterna, y el otro de alta frecuencia para la medida en continua. Las frecuencias de corte de estos dos filtros son las siguientes:



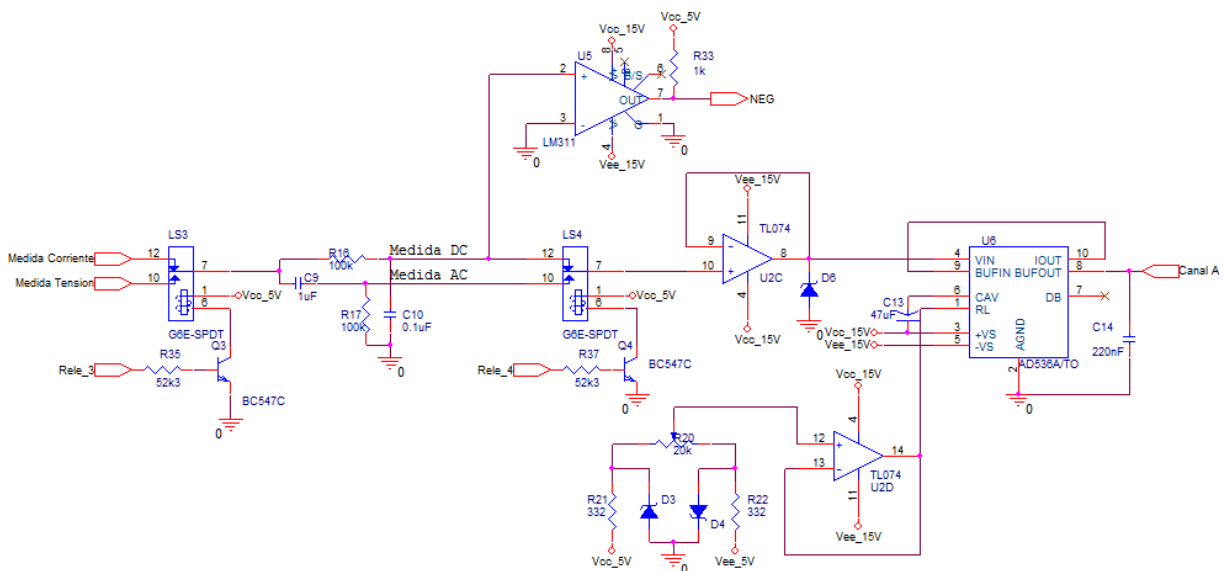
Filtro paso bajo  $\rightarrow f = R_{16} \times C_{10} = 0,01\text{Hz}$

Filtro paso alto  $\rightarrow f = R_{17} \times C_{11} = 0,1\text{Hz}$

Con ayuda de un relé se elige entre una de las dos señales resultantes dependiendo del tipo de medida escogido por el usuario.

El último paso antes de convertir la señal a datos digitales es obtener el valor eficaz la señal. Esto se consigue con el circuito AD536. Si a este conversor entra una señal continua en lugar de una alterna el valor de medida continua no se altera. El único inconveniente de este tipo de conversor es que en el caso de que la señal continua tenga un valor negativo se volverá con valor positivo. Para solucionarlo se añade un comparador LM311 que comprueba si la señal es mayor o menor que cero. Si es menor que cero la salida del comparador se pondrá a nivel alto, controlando esta señal se sabrá en la aplicación si la señal de entrada es positiva o negativa. Antes de convertir la medida tomada en datos digitales y leerlos en el programa se ha colocado un diodo zener de 5.1V entre el seguidor de tensión y el integrado AD536 para proteger la entrada del conversor analógico-digital, ya que el límite de la entrada es de 5,5V.

En la Figura 3.65 se muestra el esquemático de esta parte del circuito.

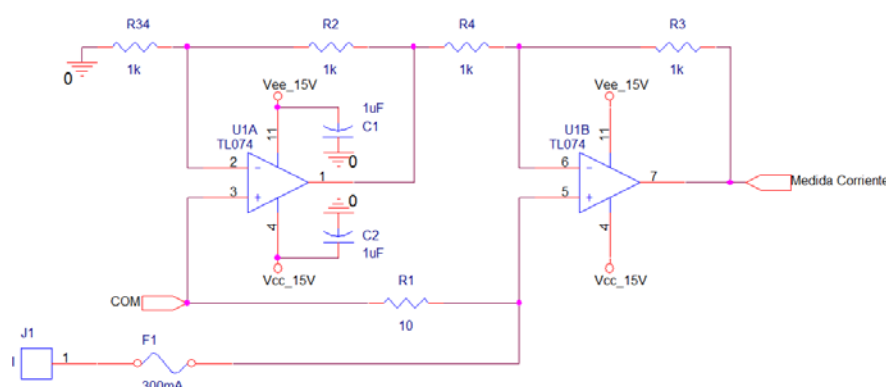


**Figura 3.65: Esquemático medida de tensión o corriente**

### 3.5.2 Medida de corriente

Para esta medida se utilizan los conectores I y COM. Los rangos de corriente admitidos por el multímetro son de 0mA hasta 250mA. Para evitar dañar la entrada del conversor analógico digital debido a excesos de corriente se ha colocado en la entrada un fusible rearmable de 300mA. Además de esta protección mediante fusible, se asegura que el valor de la corriente no sea alta por las propias limitaciones de los módulos Generador de Funciones (ver **Capítulo 3.4**) y Fuente de Alimentación (ver **Capítulo 3.3**) cuyas corrientes máximas de salida son 300mA en cada una de las salidas de este último.

Para poder medir la corriente y que el conversor analógico-digital sea capaz de enviar la medida primero se ha de convertir a tensión. Para ello se van a utilizar dos de los amplificadores del integrado TL074 en modo amplificador de instrumentación (ver Figura 3.66).



**Figura 3.66: Esquemático amplificador de instrumentación**

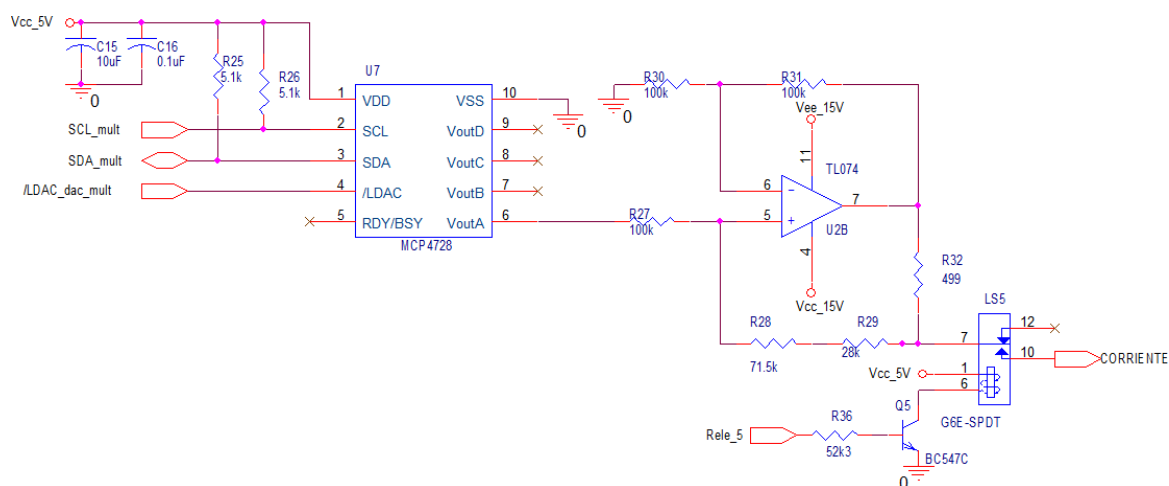
La manera de medir corriente y transformarla en una tensión proporcional es la siguiente: se hace pasar dicha corriente por una resistencia control, en este caso de 10 ohmios, y mediante el amplificador de instrumentación se mide la diferencia de tensión en bornes de la resistencia.

A partir de este punto, una vez se ha convertido la medida de corriente en tensión, la evolución de la señal sigue el mismo camino que en la medida de tensión: se diferencia si es señal continua o alterna, se hace pasar la señal a través del conversor eficaz a continua AD536 y por último se convierte la señal analógica a digital mediante el conversor analógico-digital.

### 3.5.3 Medida de resistencia y continuidad

La medida de resistencia y continuidad se realizan entre los conectores V-OHM y COM y de la misma manera. La medida en ohmios se conseguirá haciendo pasar una corriente, que podrá variar dependiendo del rango elegido, a través de la resistencia a medir, lo que generará una tensión que será la que se convierta en una señal digital.

El suministro de corriente se realiza con una fuente Howland (ver Figura 3.67) de ganancia 0,002 A/V. La tensión que controla esta fuente es suministrada por el conversor digital-analógico MCP4728, el mismo que se utiliza en los módulos Fuente de Alimentación y Generador de Funciones.



**Figura 3.67: Esquemático fuente de corriente**

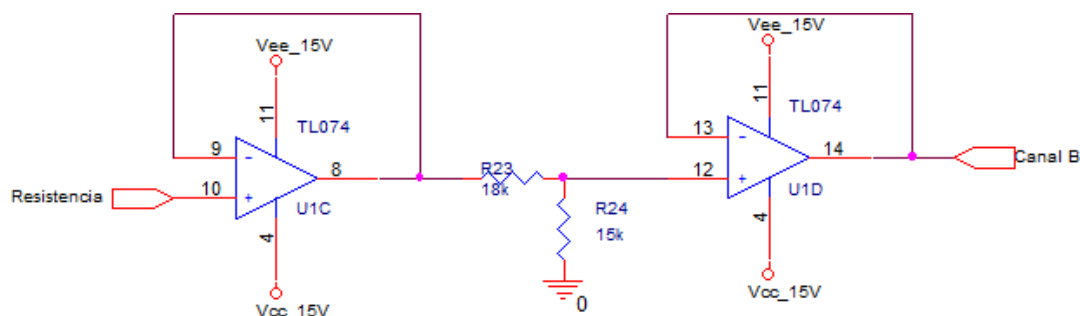
En la tabla 3.10 se puede ver la corriente que tiene que dar la fuente para cada rango de resistencia, también la tensión a la salida del conversor digital-analógico y el código hexadecimal para ello.

Resistencia	Corriente	Tensión	Código ADC
200 $\Omega$	10 mA	5 V	0xFFF
2 k $\Omega$	5 mA	2,5 V	0x800
20 k $\Omega$	500 $\mu$ A	250 mV	0x0CD
200 k $\Omega$	50 $\mu$ A	25 mV	0x014
2 M $\Omega$	5 $\mu$ A	2,5 mV	0x002

**Tabla 3.10: Configuración de medida resistencia**

La tensión que generan los distintos rangos de resistencia es de 10V máximo,

para que coincida con el rango de entrada del conversor analógico-digital que es de 5V, antes se hace pasar la medida por un divisor de tensión de atenuación 0.455 para asegurar que no se llega al límite de 5 V (ver Figura 3.68). Al igual que con las medidas de tensión y corriente, antes de la entrada del conversor se ha colocado un diodo zener de 5,1V para proteger dicha entrada.



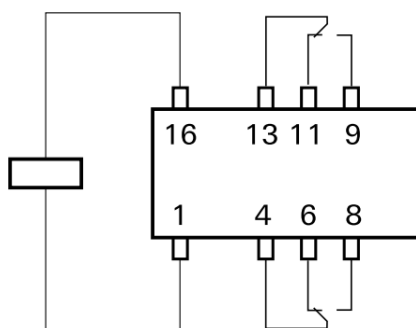
**Figura 3.68. Esquemático medida resistencia/continuidad**

La comprobación de continuidad en un circuito se hace como si se fuera a medir resistencia, la diferencia está en el rango a medir. En la aplicación se fija ese rango en 10 ohmios, si la medida está por debajo de ese rango significa que existe continuidad.

### 3.5.4 Componentes utilizados en este módulo

- Relé DPDT

El relé utilizado es el modelo MT2 de TE Connectivity de propósito general. La configuración de los contactos se puede ver en la Figura 3.69:



**Figura 3.69: Conexiones internas del relé DPDT**

En cuanto a las características del relé, se muestran en la tabla 3.11 destacando las del relé escogido.

Nominal voltage $U_{nom}$	Operate/set voltage range		Release/ reset voltage Minimum	Coil power	Coil Resistance	Relay code	Tyco part number
	Minimum voltage $U_{min}$ Vdc	Maximum voltage $U_{max}$ Vdc					
Vdc	Vdc	Vdc	Vdc	mW	$\Omega / \pm 10 \%$		
High sensitive version (150 mW) non-latching 1 coil							
3	2.1	8.1	0.30	150	60	C 93400	1-1462001-2
3.3	2.3	8.8	0.33	150	72	C 93407	1-1462001-3
4.5	3.2	12.2	0.45	150	136	C 93406	2-1462000-2
5	3.6	13.5	0.50	150	168	C 93401	0-1462000-1
6	4.3	16.2	0.60	150	240	C 93427	5-1462000-6
9	6.4	24.3	0.90	150	544	C 93405	2-1462000-0
12	8.6	32.4	1.20	150	968	C 93402	0-1462000-7
24	17.1	64.8	2.40	150	3872	C 93403	1-1462000-3
48	34.1	129.6	4.80	150	15468	C 93404	1-1462000-8

**Tabla 3.11: Características eléctricas del relé DPDT**

El cálculo para hallar la resistencia de base se realiza de la misma manera que con el relé en el módulo Fuente de Alimentación (ver **Capítulo 3.3**).

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{30 \text{ mA}}{420} = 71,43 \mu\text{A}$$

$$R_B = \frac{\text{Rele\_Equipo}}{I_B} = \frac{5\text{V}}{71,43 \mu\text{A}} = 70 \text{ k}\Omega$$

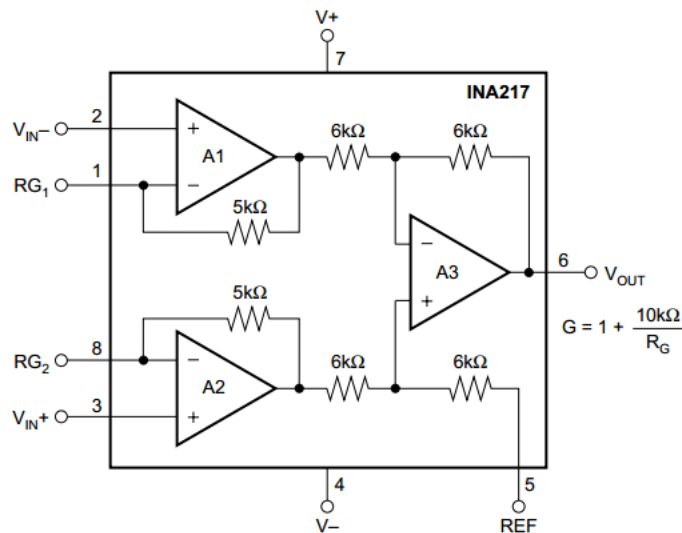
Con esto se obtiene que la resistencia de base máxima para que el relé se pueda activar sea de 70k $\Omega$  o mejor dicho 68k $\Omega$ , dado que ese es el valor comercial más cercano a 70k $\Omega$ . Para evitar posibles problemas por estar muy cerca de la resistencia de base máxima se ha escogido una resistencia de menor valor, 47k $\Omega$ , además así se asegura que la ganancia de corriente del transistor  $\beta$  sea menor que la  $h_{FE}$  mínima y también la saturación del transistor.

- Amplificador de instrumentación INA217

Este amplificador es utilizado también en la entrada de los dos canales del módulo Osciloscopio. Sus principales características son: bajo ruido, baja distorsión,

bajo offset y ganancia desde 1 hasta 10000 V/V aunque debido a que la resistencia  $R_G$  es un potenciómetro digital AD5290 la ganancia mínima que se puede configurar es de 2 V/V.

La Figura 3.70 muestra la configuración interna de este amplificador de instrumentación.

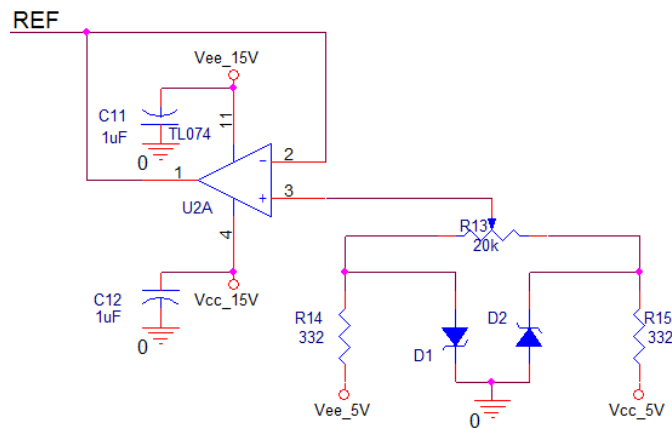


**Figura 3.70: Amplificador de instrumentación INA217**

La ganancia que se configura depende del rango de medida elegida para que a la salida haya una tensión máxima de 5V:

- Para el rango de hasta 200mV, la ganancia es de 200 V/V
- Para el rango de hasta 2V, la ganancia es de 20 V/V
- Para el rango de hasta 20V, la ganancia es de 2V/V.

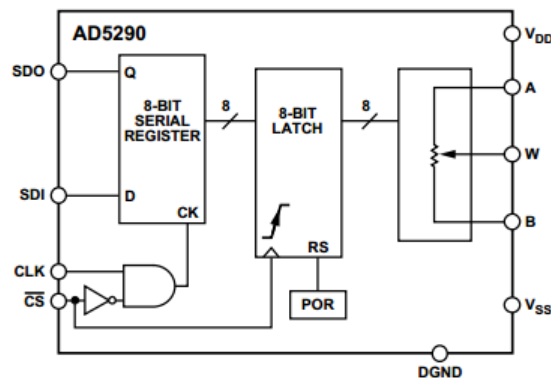
Este amplificador permite ajustar la tensión de *offset* con el pin REF. Este pin se va a utilizar para corregir el error de *offset* que pueda aparecer. El circuito para corregir este *offset* se muestra en la Figura 3.71:



**Figura 3.71: Corrección de error de offset**

- Potenciómetro digital AD5290

Con este potenciómetro digital (Figura 3.72) se puede controlar la ganancia del amplificador de instrumentación INA217 en la medida de tensión. Consta de sólo un potenciómetro de 10k $\Omega$  controlado por SPI. Este potenciómetro, al igual que toda la etapa de acondicionamiento, también se utiliza en la entrada de los dos canales del módulo Osciloscopio (ver **Capítulo 3.6**). El diagrama interno se muestra en la figura siguiente.



**Figura 3.72: Diagrama de bloques potenciómetro AD5290**

Sus características principales son:

- 256 pasos de valor de resistencia
- Bajo coeficiente de temperatura, 35ppm/ $^{\circ}\text{C}$ .
- Posibilidad de alimentación doble de  $\pm 15\text{V}$ .
- $R_W$  típico de 50 $\Omega$ .

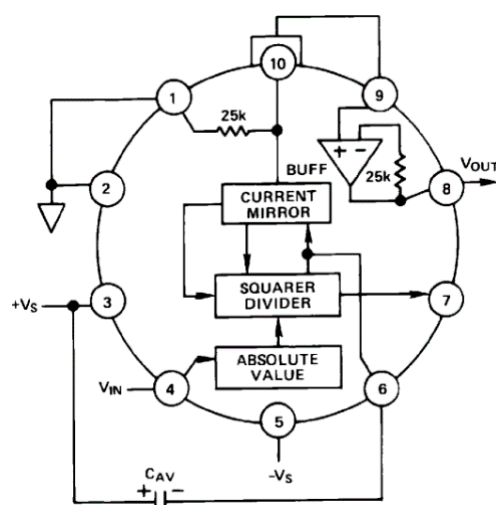
Los valores de resistencia que toma este potenciómetro dependen de la ganancia que se quiera dar al amplificador de instrumentación que a su vez depende del rango de medida escogido. La tabla 3.12 detalla el valor de resistencia con su código hexadecimal para conseguir la ganancia según el rango escogido.

Rango	Ganancia	Resistencia	Código
0 - 200mV	200	50	0xFF
200mV - 2V	20	526	0xF6
2V - 20V	2	10k $\Omega$	0x00

**Tabla 3.12: Ganancia del INA217 según rango de medida**

#### ▪ Conversor RMS-to-DC AD536A

El conversor AD536 (Figura 3.73) es capaz de dar una señal continua equivalente al valor eficaz de la señal de entrada. Si en la entrada hay una señal continua, la salida tendrá el mismo valor que la entrada.



**Figura 3.73: Diagrama de bloques AD536**

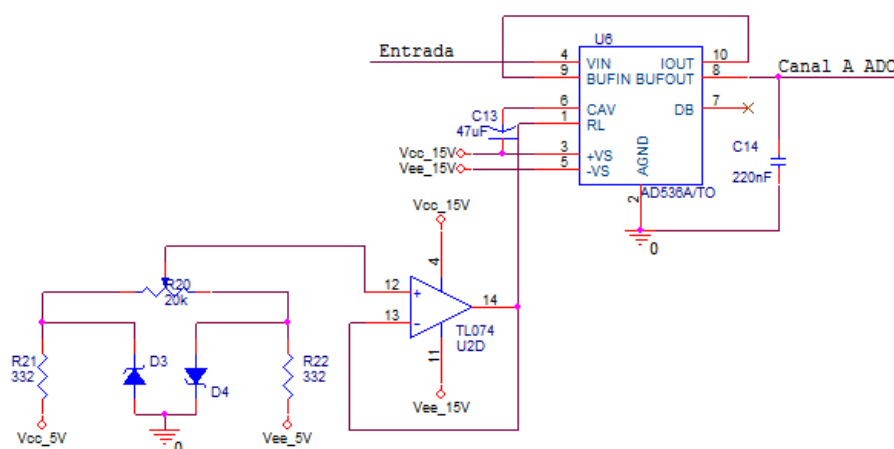
Las principales características de este integrado son:

- 2 MHz de ancho de banda si la tensión eficaz es mayor de 1V y 450kHz si es mayor de 100mV.
- Baja consumo: 1,2mA
- Posibilidad de alimentación única o dual.



El conversor AD536 también tiene un pin especial para corregir el offset. Se utiliza la misma configuración que para eliminar el *offset* en el amplificador INA217 (ver Figura 3.74).

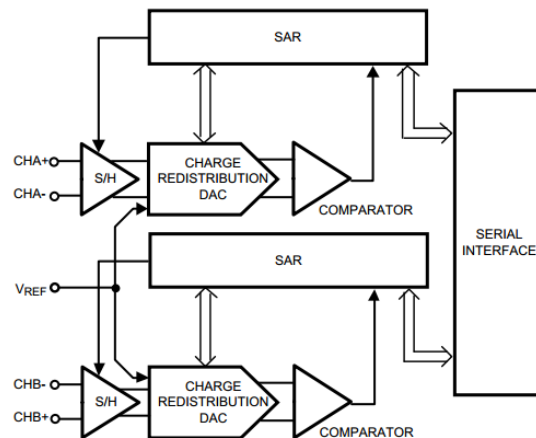
La salida de este conversor es una señal continua de valor máximo 5V debido al acondicionamiento previo. Al convertir valores eficaces no puede haber señales con valores negativos, por eso se ha añadido un comparador en la rama por la que va la medida de continua, porque si esta medida es negativa, al pasar por este conversor RMS a DC se vuelve positiva y el comparador ayuda a averiguar si la señal es negativa o positiva.



**Figura 3.74: Esquemático conversor RMS a DC AD536**

- Conversor analógico-digital ADC122S625

El ADC122S625 (Figura 3.75) es un conversor analógico-digital de aproximaciones sucesivas, dos canales e interfaz SPI.



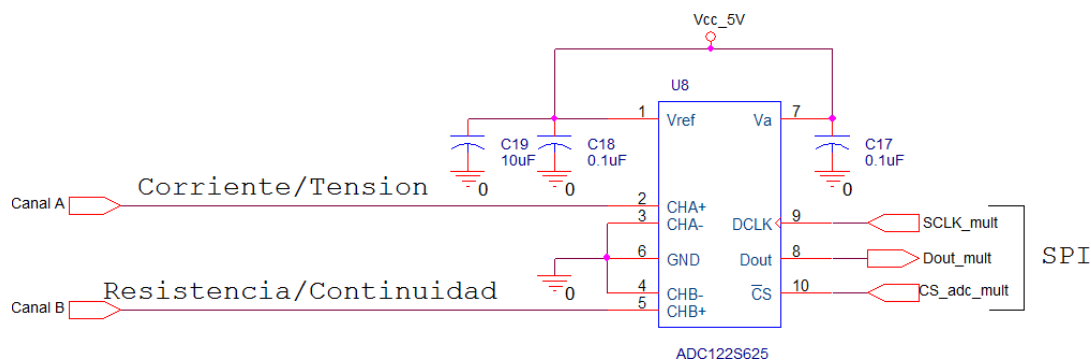
**Figura 3.75: Diagrama de bloques del conversor ADC122S625**

Las características del conversor se resumen a continuación:

- Velocidad de conversión máxima 200kSPS
- Posibilidad de utilizar tensión de referencia externa
- 12 bits de resolución
- Conversión simultanea de los dos canales.

La referencia de tensión escogida es la misma que la tensión de alimentación máxima de 5V. Por este motivo todas las medidas tomadas se han adecuado al rango de 0V a 5V.

La toma de muestras es de medidas de corriente y tensión, según se elija, por el canal A y medidas de resistencia y continuidad por el canal B. Al tener dos canales, trabajan los dos simultáneamente sin poder elegir el canal del cual leer, por lo que se leen los dos canales y en la aplicación de control se procesan los datos obtenidos por el canal de la medida escogida y se descartan los del otro canal.



**Figura 3.76: Esquemático ADC122S625**

- Conversor Digital-Analógico MCP4728.

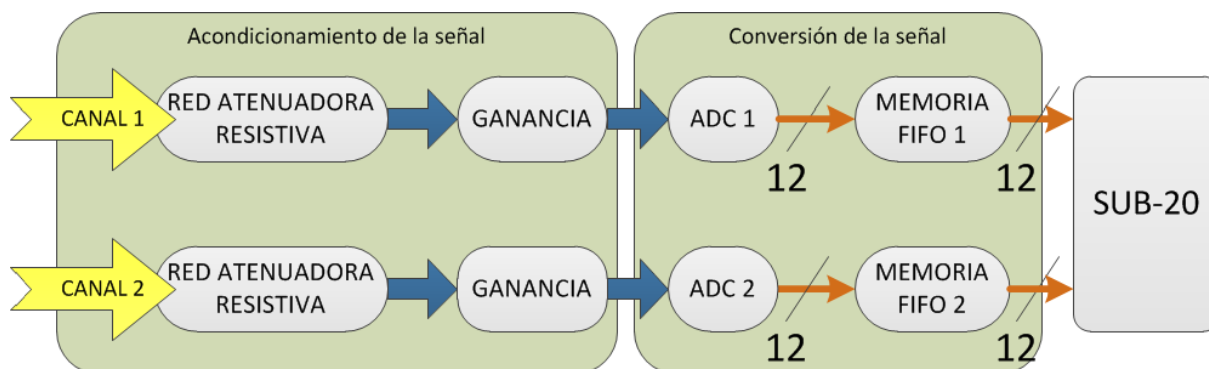
Este conversor es utilizado para controlar la tensión de entrada de la fuente Howland que suministra corriente en la medida de resistencia y continuidad. El modelo es el mismo que se utiliza en los módulos Fuente de alimentación y Generador de Funciones. En este módulo solo se va a necesitar uno de los cuatro canales de los que posee (ver Figura 3.67).

- Relé SPDT

Los relés SPDT que se utilizan para elegir el tipo de medida de corriente o tensión tanto continua como alterna son los mismos utilizados en la Fuente de Alimentación (ver **Capítulo 3.2**) y en el Generador de Funciones (ver **Capítulo 3.3**).

## 3.6 Módulo Osciloscopio

Un osciloscopio permite la representación de señales y realizar en estas las operaciones pertinentes para la mejor visualización de dichas señales así como las medidas.

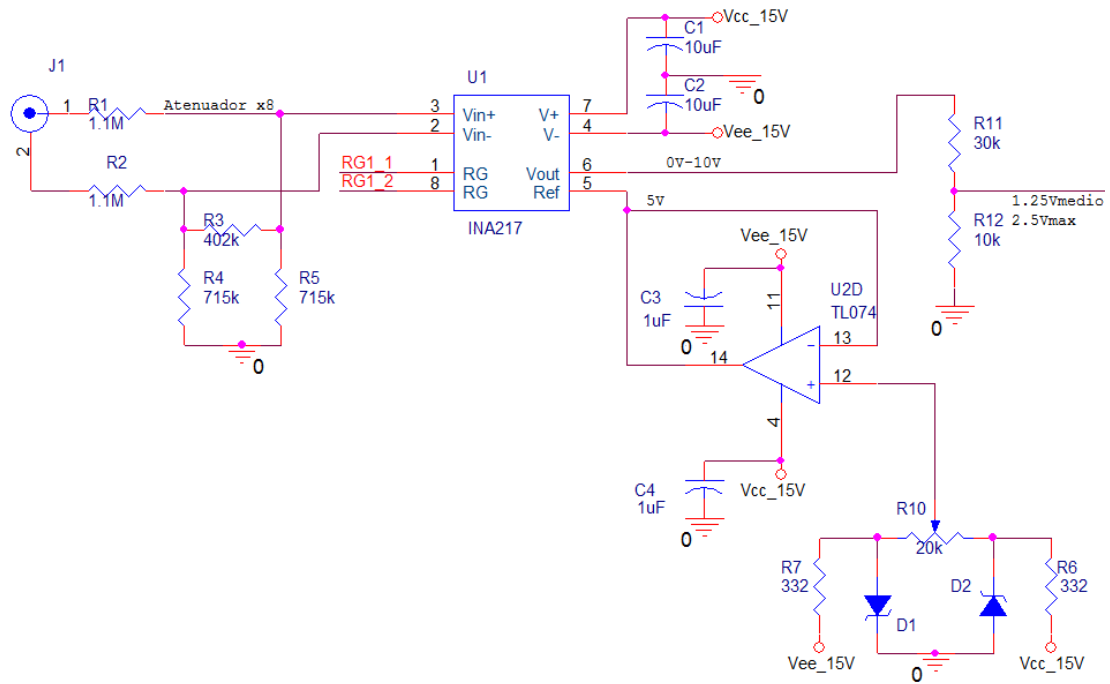


**Figura 3.77: Diagrama de bloques Módulo Osciloscopio**

La configuración de los dos canales es análoga (ver Figura 3.77). La señal introducida por el canal correspondiente primero pasa por una red atenuadora idéntica de la utilizada en el módulo multímetro, acto seguido utilizando amplificadores de instrumentación se adecuan los niveles de tensión a los permitidos en los conversores analógicos-digitales. Por último se guardan todas las muestras tomadas en memorias FIFO (una por canal) hasta que son leídas por la aplicación.

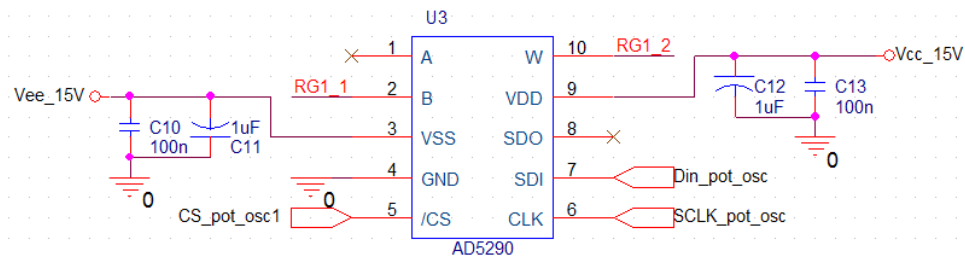
### 3.6.1 Bloque Acondicionador de Señal

A la entrada de cada canal se permiten niveles de tensión de  $\pm 20V$ , igual que en bloque del multímetro (ver Capítulo 3.4). Esta señal de entrada es atenuada entre 8 mediante una red resistiva idéntica que la de la entrada del multímetro y pasa por un amplificador de instrumentación. Este amplificador cumple con dos objetivos: sumar una tensión de offset para que los niveles de señal se adecuen a los del conversor analógico-digital y también permite ampliar la señal de entrada en caso de que sea necesario. El último paso es dividir la señal por 4 para adaptarla a los niveles de entrada del conversor. En la Figura 3.78 se muestra el esquemático del bloque acondicionador del canal 1 siendo idéntico para el canal 2.



**Figura 3.78: Esquemático entrada canal 1 módulo Osciloscopio**

De la misma manera que en el bloque multímetro, la ganancia del amplificador de instrumentación se controla variando el valor de la resistencia entre sus pines 1 y 8. El encargado de esta tarea es el potenciómetro de 10kΩ AD5290 (Figura 3.79).



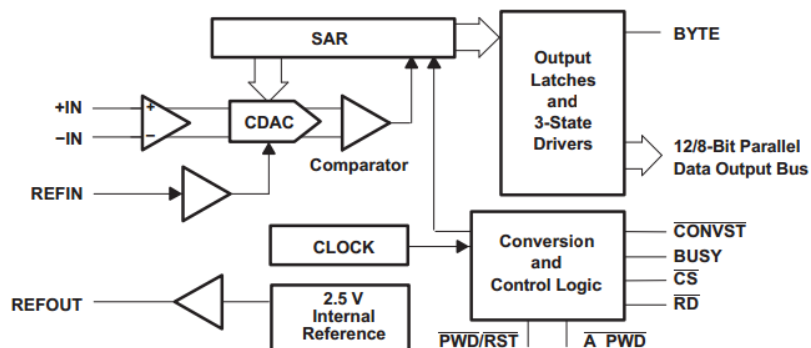
**Figura 3.79: Esquemático potenciómetro AD5290**

### 3.6.2 Bloque Conversor Analógico-Digital

Este bloque es el encargado de convertir las señales entrantes en muestras digitales para luego poder representarlas en el programa de control. También incorpora una memoria que almacena las muestras tomadas por el ADC de su canal hasta que son leídas por el programa.

## ▪ Conversor Analógico-Digital ADS7882

El conversor analógico-digital escogido para este módulo es el ADS7882 de Texas Instruments (Figura 3.80) de aproximaciones sucesivas.

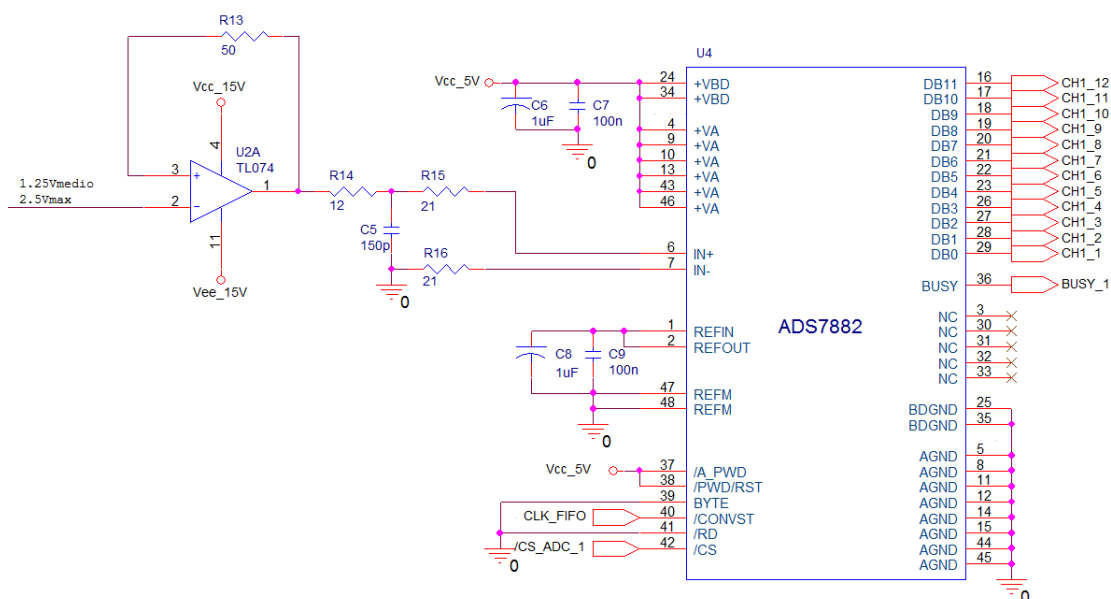


**Figura 3.80: Diagrama de bloques ADS7822**

Este conversor tiene las siguientes características:

- Frecuencia de muestreo máxima de 3MHz.
- 12 bits de resolución.
- Entrada unipolar o pseudodiferencial de rango entre 0V-2,5V
- Salida bus paralelo.
- Posibilidad de escoger entre referencia de tensión interna o externa.

Antes de que la señal llegue al conversor es necesaria filtrar el ruido con el circuito que se puede ver en el esquemático de la Figura 3.81.



**Figura 3.81: Esquemático ADS7822**

Para este proyecto se ha preferido utilizar la tensión de referencia interna, de valor 2,5V, para no añadir más componentes externos en este bloque.

La forma de muestrear las señales provenientes del bloque acondicionador es la siguiente:

- Primero se habilitará el funcionamiento del ADC poniendo el pin /CS a nivel bajo.
- Cada conversión empezará en el flanco de subida en el pin /CONVST.
- Las conversiones terminan cuando el pin /CS pasa a nivel alto.

La señal encargada del inicio de las conversiones proviene de un PWM incluido en el bloque del bus SPI de la tarjeta SUB-20. Esta señal de reloj también controlará el reloj de las memorias FIFO ubicadas a continuación de sendos conversores analógicos-digitales.

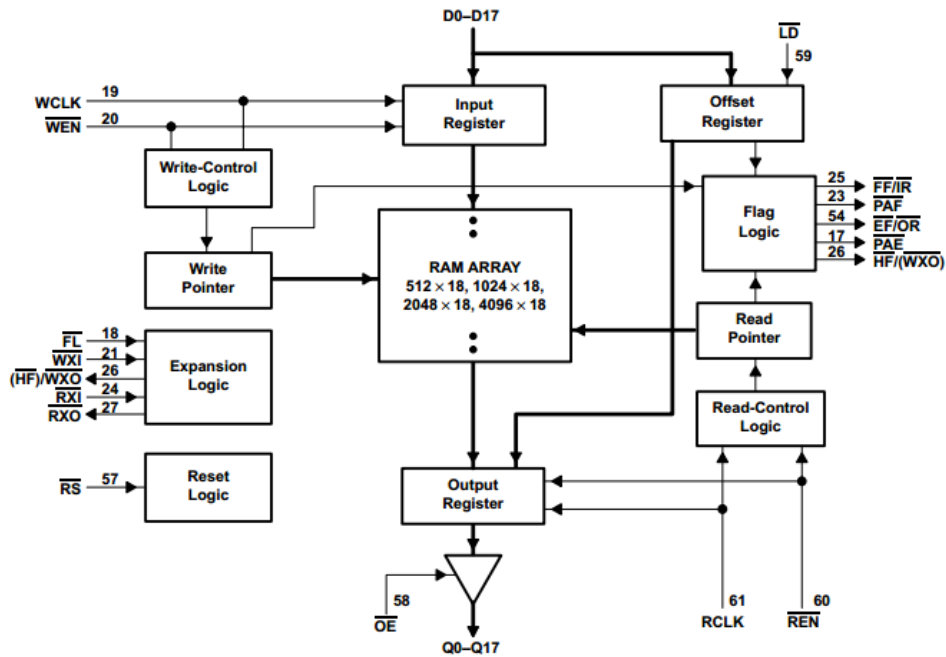
El PWM puede ser configurado con una frecuencia de funcionamiento desde 0,238Hz hasta los 8MHz y un ciclo de trabajo desde 2% hasta el 98%. Como la frecuencia máxima que puede dar el módulo Generador de Funciones (Ver **Capítulo 3.4**) es de 300kHz, la frecuencia máxima de muestreo es de 2MHz. Este valor cambiará según la base de tiempos escogida.

▪ Memoria FIFO SN74V245

Las características principales de esta memoria son las siguientes:

- Capacidad de 4096x18 bit, aunque solamente se utilizan 12 bits de ancho de bus.
- Tensión de alimentación de 3,3V.
- Tolerancia de tensión de entrada de hasta 5V.
- Frecuencia de trabajo máxima de 133MHz.

El diagrama de bloques de la memoria se muestra en la Figura 3.82.



**Figura 3.82: Diagrama de bloques SN74V245**

Esta memoria tiene dos modos de funcionamiento: el modo standard, en el que la primera palabra escrita en la memoria no aparece en las líneas de datos de salida hasta que no se indique la operación de lectura, y el modo FWFT, en el que la primera palabra escrita es directamente trasladada a las líneas de datos de salida después de tres transiciones de la señal RCLK. La opción escogida es la primera, el modo standard, de esta manera se puede controlar el tráfico de datos desde este módulo hasta la tarjeta SUB-20. La configuración del modo de funcionamiento standard se realiza durante el tiempo de *reset* manteniendo los pines /FL, /RXI y /WXI a nivel bajo como muestra la Figura 3.83.



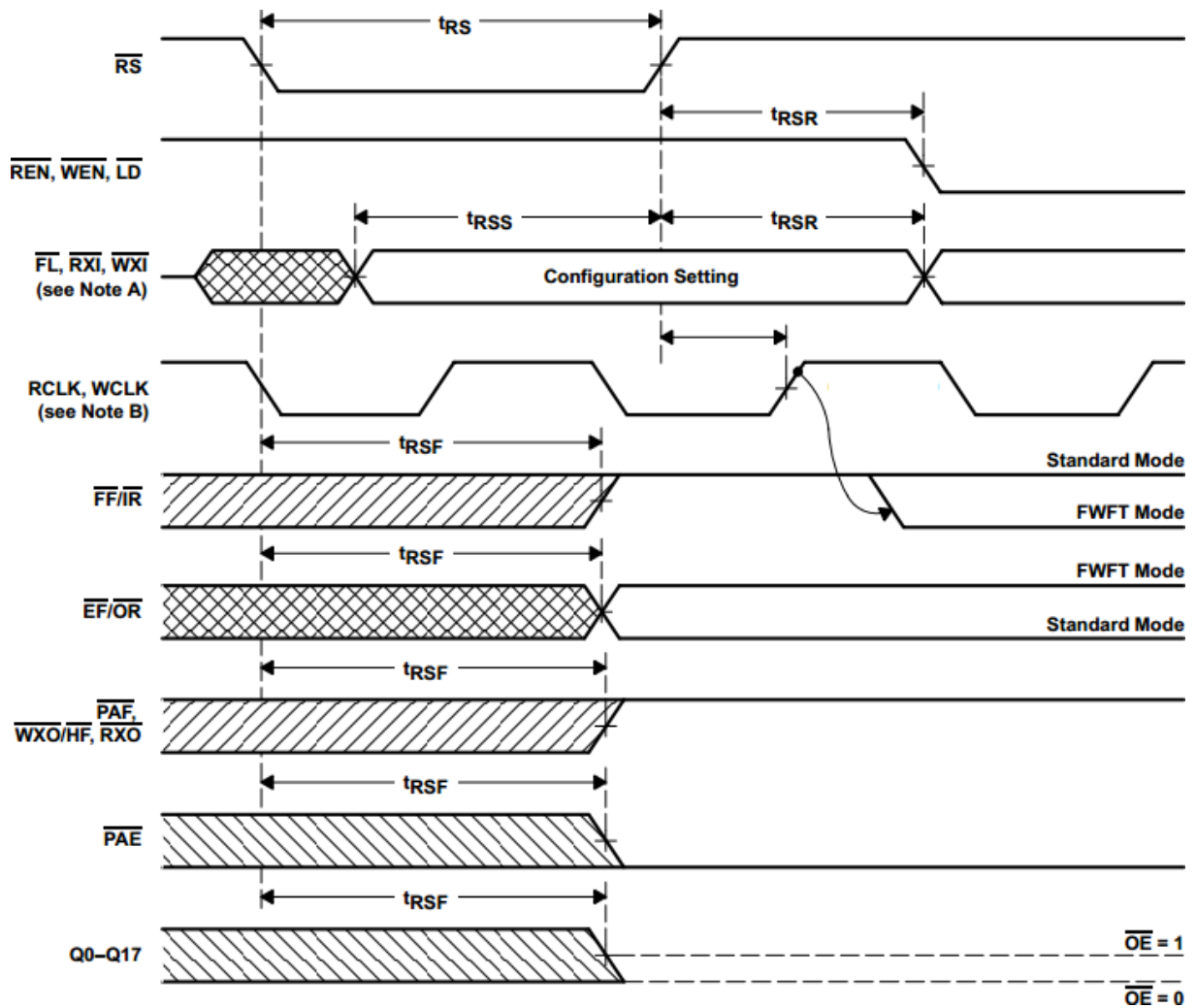


Figura 3.83: Cronograma reset y configuración SN74V245

La escritura en la memoria está controlada por los pines WCLK y  $\overline{WEN}$ . La señal WCLK es la misma señal de reloj que inicia las conversiones en el ADC, mientras que  $\overline{WEN}$  es la habilitación de escritura y está conectada a la señal de habilitación del conversor ADS7882.

Para la lectura es necesario poner a nivel bajo los pines  $\overline{OE}$  y  $\overline{REN}$ , además del reloj en el pin RCLK. Esta señal de reloj es la misma que la que controla la escritura en esta memoria y las conversiones en el ADC ADS7882.

En la Figura 3.84 se muestra el esquemático de esta memoria con las señales en sus pines correspondientes.

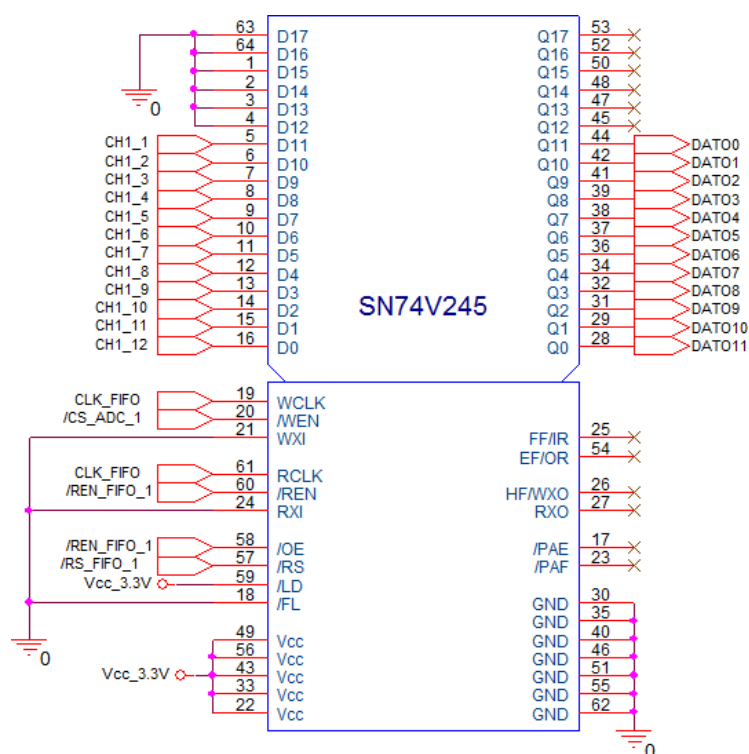


Figura 3.84: Esquemático memoria FIFO SN74V245

Esta memoria se alimenta a 3.3V, para ello se hace uso de un regulador lineal de la Figura 3.85

- Regulador lineal LM1117

Este regulador funciona de igual manera que el regulador lineal del bloque de Alimentación (ver **Capítulo 3.2 - Placa Base**), con la diferencia que este consigue a su salida 3.3V a partir de 5V. La figura 3.86 muestra el esquemático del LM1117

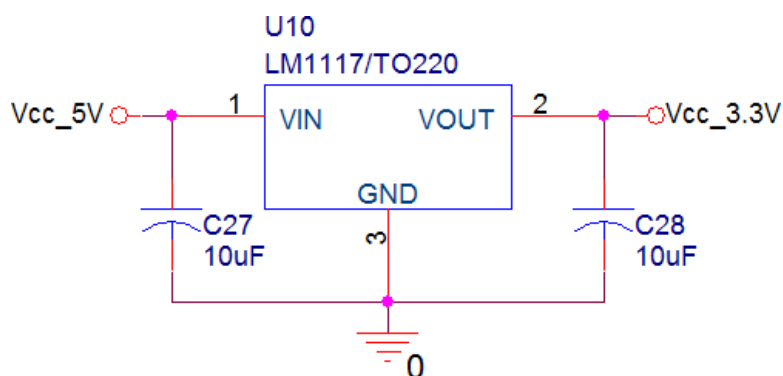


Figura 3.85: Esquemático regulador LM1117

### 3.6.3 Funcionamiento de la adquisición de datos

Como se ha explicado en el apartado de acondicionamiento de la señal, el primer paso a realizar es adaptar los niveles de la señal de entrada a los rangos de tensión que el conversor analógico-digital admite (0V – 2,5V) mediante redes resistivas y amplificadores.

Si el canal correspondiente está habilitado, la señal /CS\_ADC estará a nivel bajo y el ADC convertirá la señal iniciando cada conversión en el flanco de subida de la señal de reloj CLK\_FIFO. Si no está habilitado, la señal /CS\_ADC permanecerá a nivel alto impidiendo la toma de muestras.

La señal de inicio de conversión y el reloj de escritura de la memoria FIFO es la misma, CLK\_FIFO, la diferencia es que la conversión empieza con el flanco de bajada y la escritura con el flanco de subida. Por tanto una vez que se ha convertido la señal se escribe inmediatamente en la memoria.

Cuando ya se tienen todas las muestras en la memoria se procede a su lectura. Ésta se realiza a una frecuencia más baja que la escritura, 1 kHz, debido a que la frecuencia con la que el programa es capaz de procesar las muestras es mucho más lento que la frecuencia de conversión y guardado de las muestras en la memoria. Una vez que se han leído todas las muestras guardadas en la memoria se vuelve a cambiar la frecuencia del reloj para la nueva adquisición de datos. El procesamiento de los datos se explica en el **Capítulo 4.3.4.1 Diseño Software – Adquisición de datos**.

Si se tienen los dos canales del osciloscopio funcionando, la adquisición, la conversión y la escritura de las muestras en la memoria se realizan concurrentemente. La lectura de programa se realiza primero de un canal y luego del otro.

Mientras se leen las muestras de una memoria, se deshabilita la toma de nuevas muestras hasta que no se terminan de leer todas las muestras anteriores.



# 4. DISEÑO SOFTWARE

---



## 4.1 Introducción al LabVIEW

La aplicación que controlará todo el sistema está realizada en LabVIEW (*Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench*), un entorno de desarrollo para la programación gráfica y la integración, para diseñar aplicaciones de sistemas de medidas y control. En LabVIEW, en lugar de escribir programas basados en texto se construyen programas en lenguaje gráfico denominados Instrumentos Virtuales (VIs). Además permite la separación del programa en varios subVIs y usarlos para construir programas más complejos.

Cada VI consta de un panel frontal y un diagrama de bloques. El panel frontal es la interfaz con el usuario, se utiliza para la interacción con el usuario cuando el programa está en ejecución. En esta interfaz se definen los controles (entradas) y los indicadores (salidas). Por otro lado, el diagrama de bloques, incluye el código del programa propiamente dicho, donde se define su funcionalidad.

En la figura 4.1 se puede ver un ejemplo de un diagrama de bloques y un panel frontal de un programa modo de ejemplo que suma dos números.

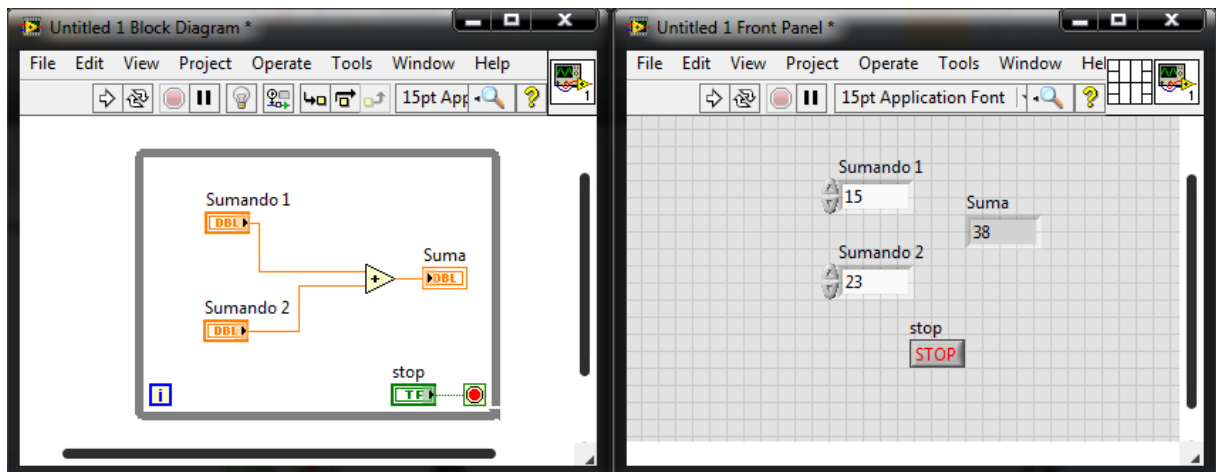


Figura 4.1: Ejemplo de programa LabVIEW

El lenguaje gráfico de LabVIEW, como cualquier otro lenguaje de programación, permite la utilización de estructuras de programación como lazos condicionales y de repetición, funciones aritméticas, etc.

## 4.2 Aplicación de control

A continuación se explica el funcionamiento del programa desarrollado en LabVIEW para el control del sistema.

La aplicación está basada en un diseño modular de tal forma que cada módulo de cada equipo es controlado por un programa independiente entre sí pero intercomunicados con el programa principal. Esta comunicación se realiza mediante colas, de esta manera se asegura la escalabilidad y la eficiencia del sistema, ya que la pérdida de mensajes o información es nula.

Las tareas que desempeñan cada uno de los módulos son:

- Principal: encargado del manejo del panel principal. Entre otras funciones también se encarga de iniciar los módulos, gestionar posibles errores y de la comunicación con la tarjeta SUB-20. Esta comunicación con la tarjeta es mediante librerías y clases .NET que trae la propia tarjeta SUB-20.
- Equipos: controlan cada uno su propio equipo. En el caso del multímetro y osciloscopio también realiza las operaciones necesarias en los datos adquiridos para su posterior visualización en la pantalla

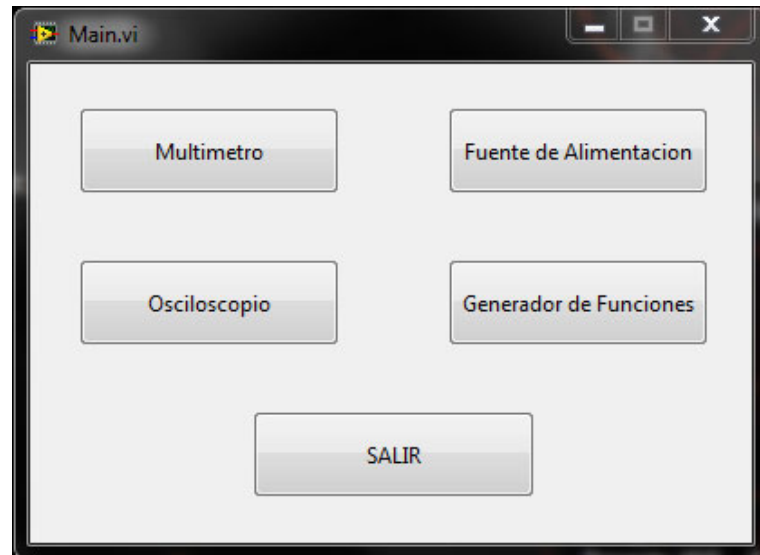
Para la realización del ejecutable de la aplicación se ha hecho uso de los manuales de LabVIEW que proporciona National Instruments

### 4.2.1 Módulo Principal

El programa principal es el encargado de iniciar el resto de los programas de los equipos, configurar inicialmente el bloque de comunicaciones y los módulos de los equipos y, aunque se considere un bloque aparte incluido en programa principal, gestionar el envío y recepción de datos de este bloque de comunicaciones.

El panel frontal (Figura 4.2) es muy sencillo ya que consta solamente de los botones para abrir los paneles frontales de los distintos equipos y de la opción de salir de la aplicación.





**Figura 4.2: Panel frontal programa principal**

Este módulo consta de tres bucles *while* cada uno con su propia función:

1. El primer bucle es el encargado de gestionar los eventos producidos en el panel frontal, es decir, la pulsación de los distintos botones. Una vez que se pulse cualquier botón del panel frontal se envían las órdenes al segundo bucle *while* mediante una cola. También gestiona un evento que cada dos segundos lee las señales provenientes de la tarjeta SUB-20. Por último, también es el que inicia la secuencia de acciones de finalización en caso de que se haya producido un error.
2. El segundo bucle *while* tiene tres propósitos:
  - Enviar la configuración inicial de los módulos de los equipos y de la tarjeta SUB-20.
  - Abrir los paneles frontales e iniciar las aplicaciones de los módulos de los equipos cuando se pulsen los botones correspondientes del panel frontal.
  - Llegado el caso de haber pulsado el botón de "SALIR", enviar la orden de cerrar la aplicación.

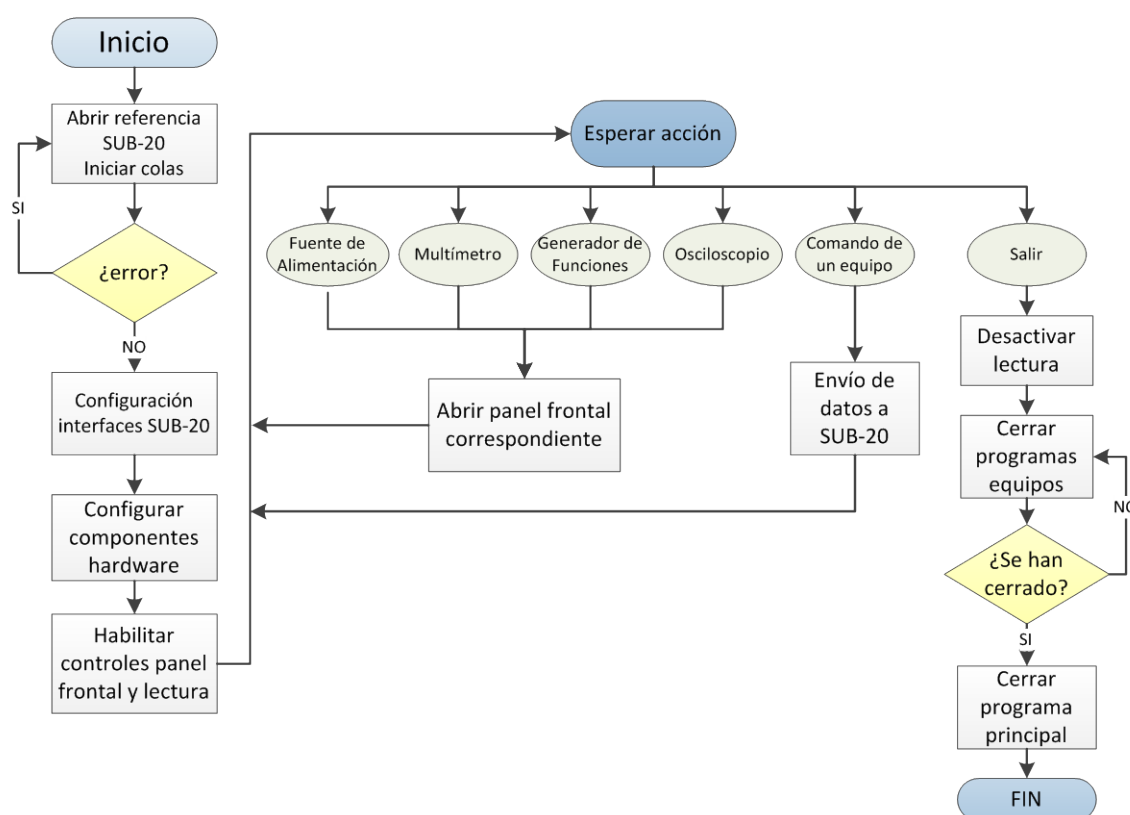
Este bucle se comunica con el tercer bucle también mediante una cola.

3. Este último bucle es el encargado de la comunicación con el sistema hardware, tanto de enviar la configuración a la tarjeta SUB-20 y a los componentes

mediante sus interfaces, como de recibir datos. Las órdenes de configuración se envían desde el propio programa principal en el caso de la configuración inicial o desde los programas de los equipos en el caso de las configuraciones de los módulos de los equipos mediante colas. Las interfaces sobre las que actúa son GPIO, bus SPI, bus I2C y FPWM.

La ejecución de estos tres bucles se realiza en paralelo, de esta manera la gestión de eventos y la comunicación con la tarjeta SUB-20, tanto el envío de órdenes como la adquisición de datos, se realiza de forma independiente. Para compartir información entre los diferentes bucles se utilizan variables locales, que permiten la actualización de los valores de éstas, y colas para el envío de datos entre los distintos bucles y programas. También se ha hecho uso de variables globales para las variables que su valor puede ser modificado por los distintos VIs como por ejemplo los valores en los pines GPIO o en el expensor de puertos.

A continuación se muestran el diagrama de flujo del programa principal (Figura 4.3) y el código del programa (Figura 4.4).



**Figura 4.3: Diagrama de flujo del programa principal**

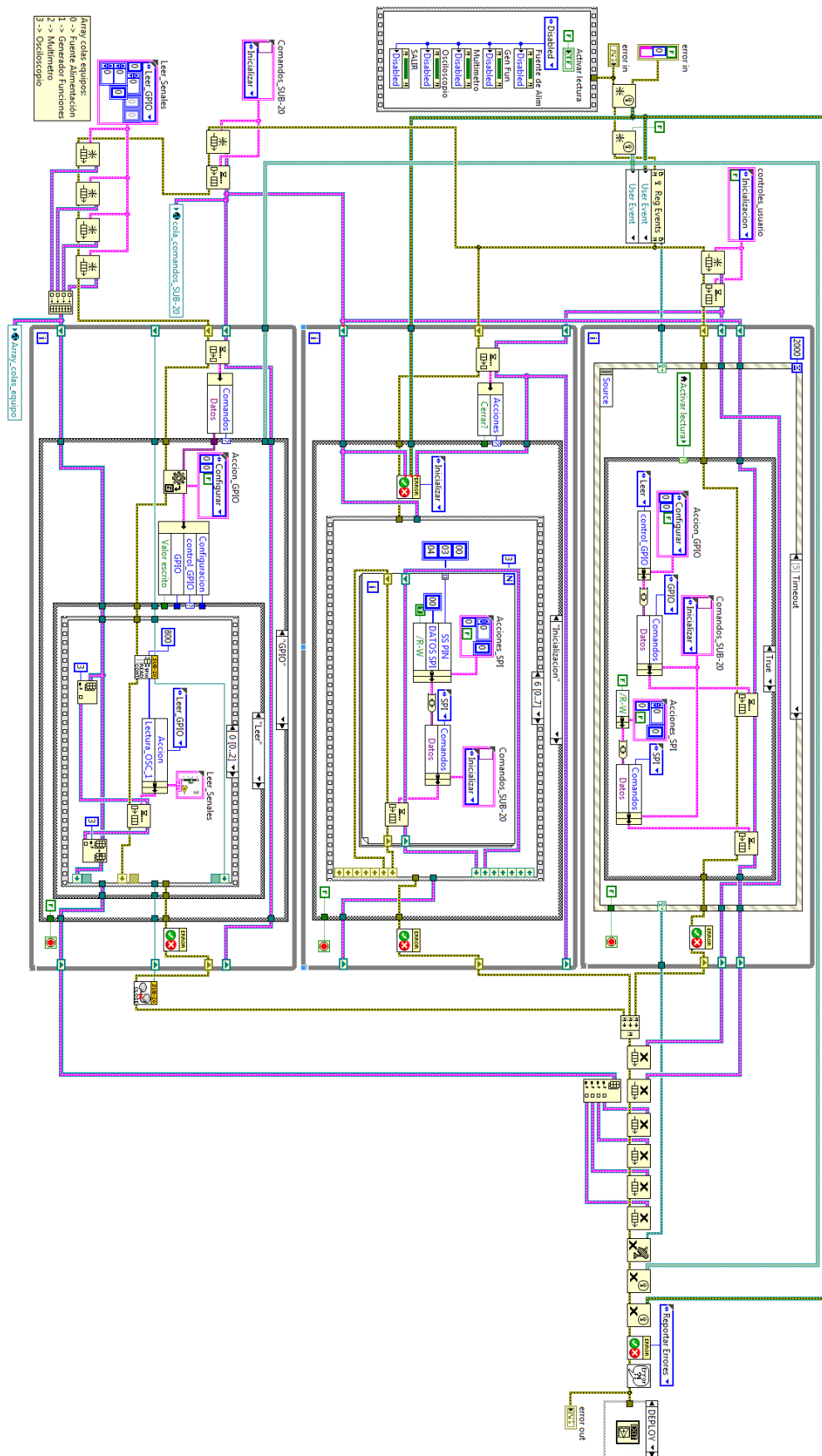


Figura 4.4: Diagrama de bloques del programa principal

#### 4.2.1.1 Librería XDIMAX SUB-20

La comunicación con la tarjeta SUB-20 se realiza mediante los *drivers* propios proporcionados por la empresa XDIMAX. Las acciones que se pueden realizar sobre la tarjeta SUB-20 con ayuda de los *drivers* son las de configuración, lectura y escritura en los distintos buses de comunicaciones que posee. A continuación se explican los distintos VIs que llevan a cargo estas acciones y las Figuras 4.4, 4.5, 4.6, 4.7, 4.8, 4.9, 4.10, 4.11, 4.12, 4.13 y 4.14 muestran sus diagramas de bloques correspondientes.

Inicialización: abre la referencia para poder comunicarse con la tarjeta SUB-20.

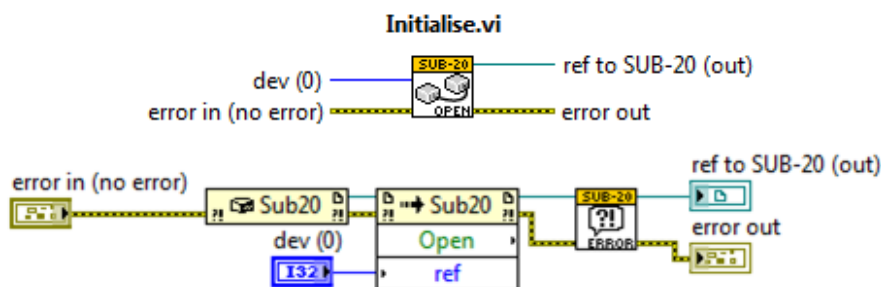


Figura 4.5: Driver SUB-20: Initialise.vi

Configuración GPIO: configura los 30 pines GPIO como entrada o salida según se indique en el control “config”

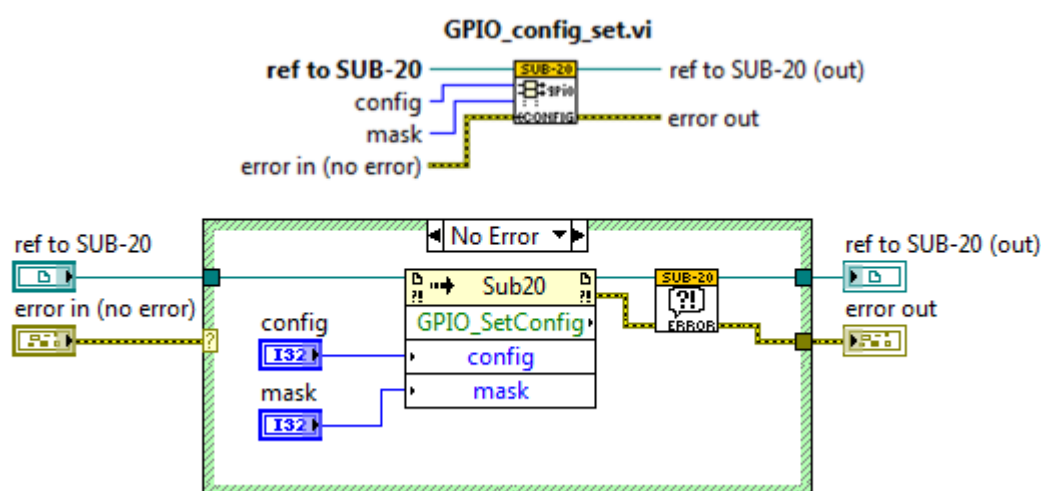


Figura 4.6: Driver SUB-20: GPIO\_config\_set.vi

Escritura GPIO: escribe el valor indicado por los controles GPIO (uno u otro, los dos a la vez no) en cada uno de los 30 pines.

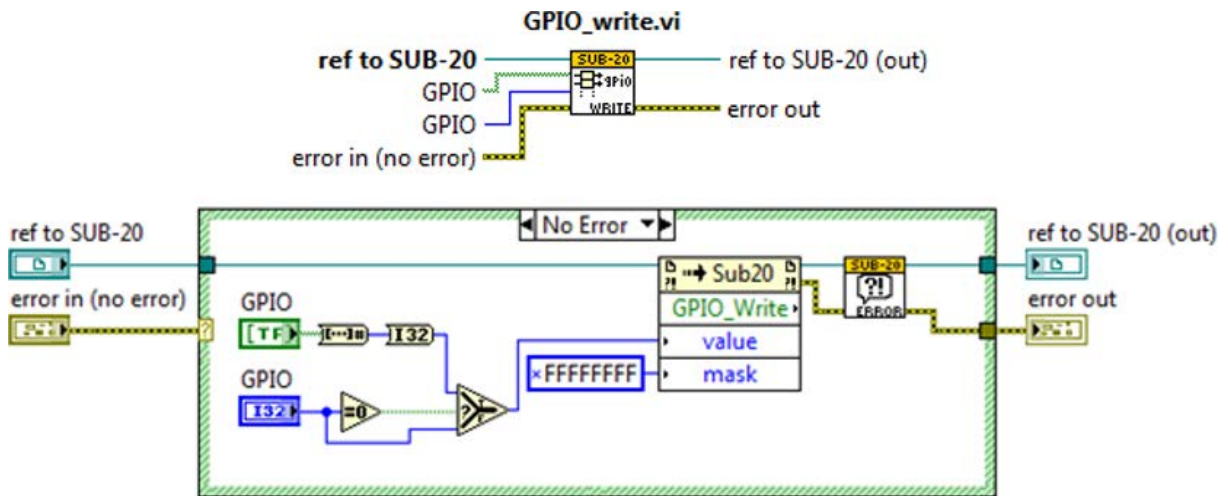


Figura 4.7: Driver SUB-20: GPIO\_write.vi

Lectura GPIO: lee el valor de los pines GPIO ya sea en bloque o un único valor indicado por el control "bit".

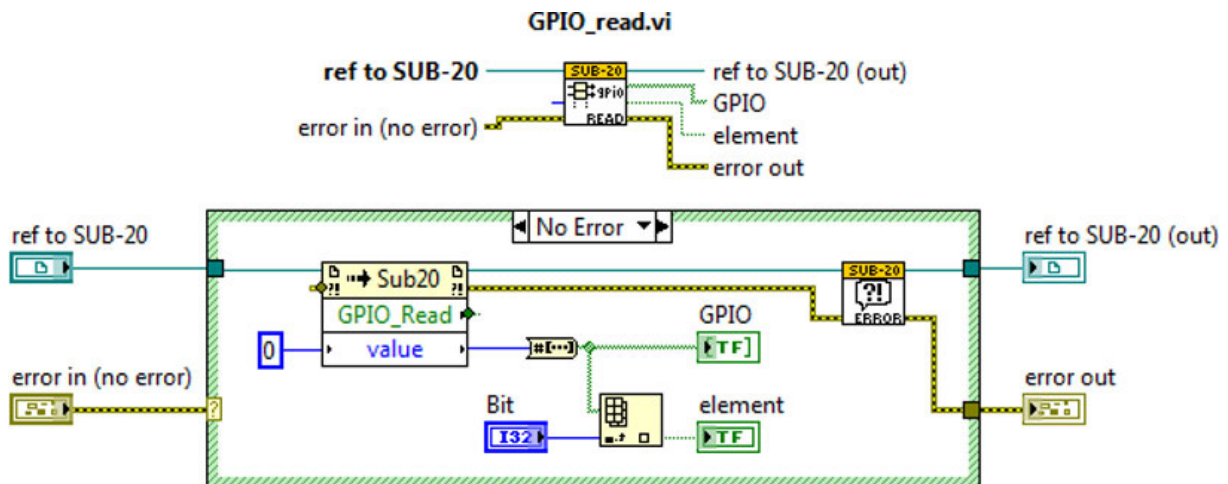


Figura 4.8: Driver SUB-20: GPIO\_read.vi

Configuración I2C: configura la frecuencia de la señal de reloj del bus I2C. El valor debe estar comprendido entre los 489Hz y los 444444Hz.

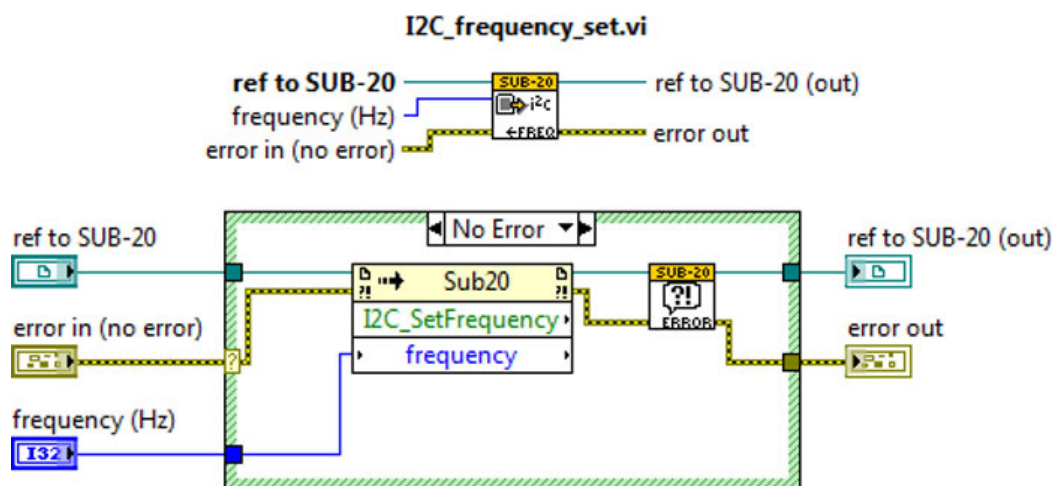


Figura 4.9: Driver SUB-20: I2C\_frequency\_set.vi

Escritura I2C: manda por el bus I2C los bytes de datos. Es necesario indicar la dirección del componente esclavo en hexadecimal.

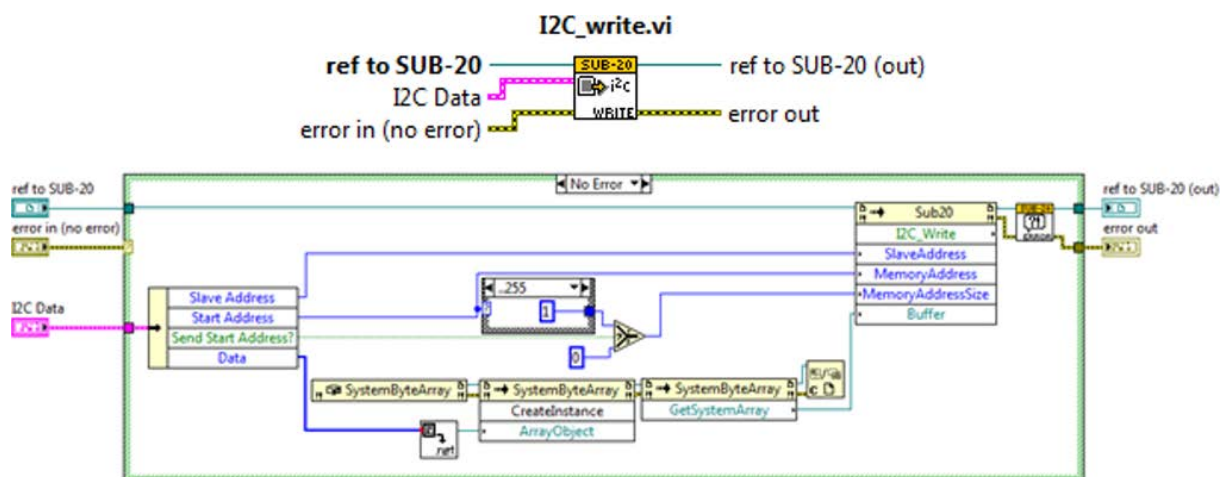


Figura 4.10: Driver SUB-20: I2C\_write.vi

Configuración SPI: configura los parámetros tales como la frecuencia de reloj, la polaridad del bus de datos, la habilitación del propio bus, el orden de envío de los datos del bus SPI



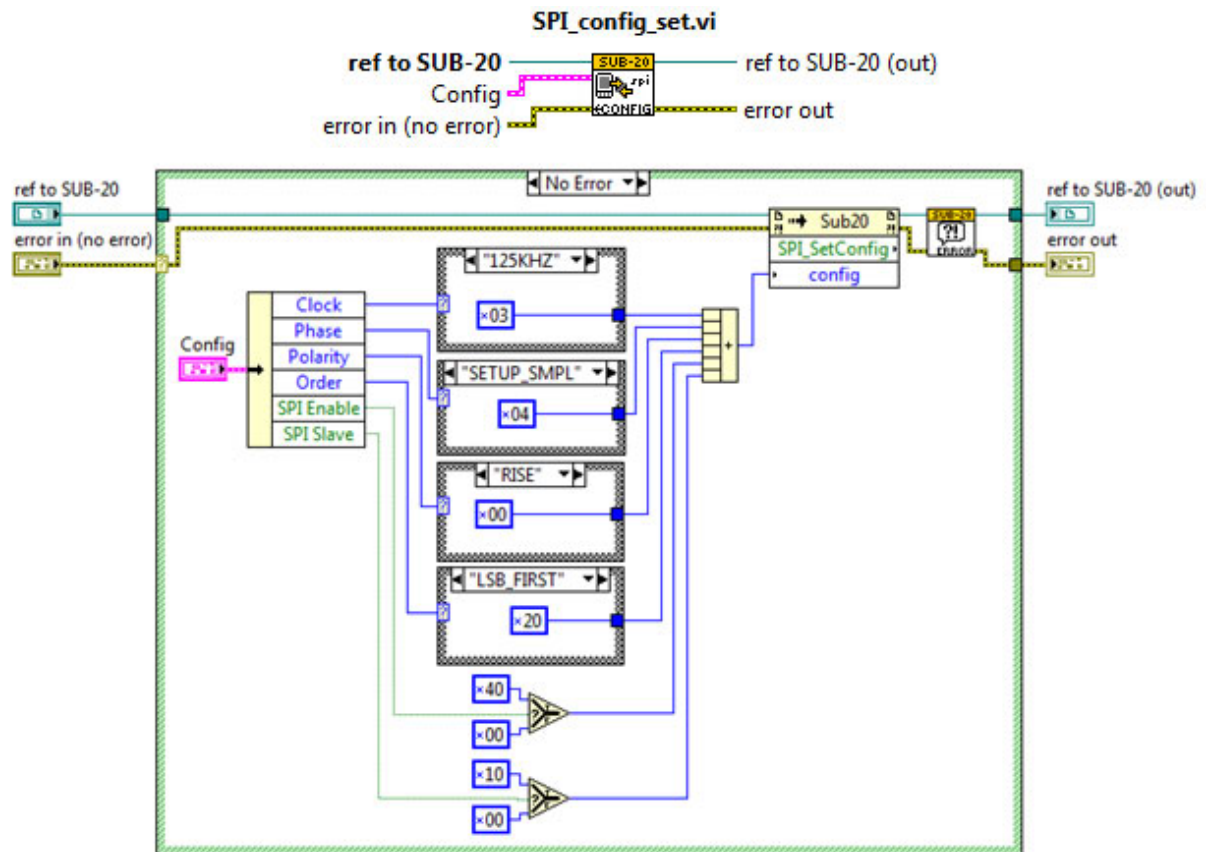


Figura 4.11: Driver SUB-20: SPI\_config\_set.vi

Escritura SPI: envía los bytes de datos a través del bus SPI. Es necesario indicar el número de línea SS de la tarjeta SUB-20 que se va a utilizar y el modo de funcionamiento de ésta.

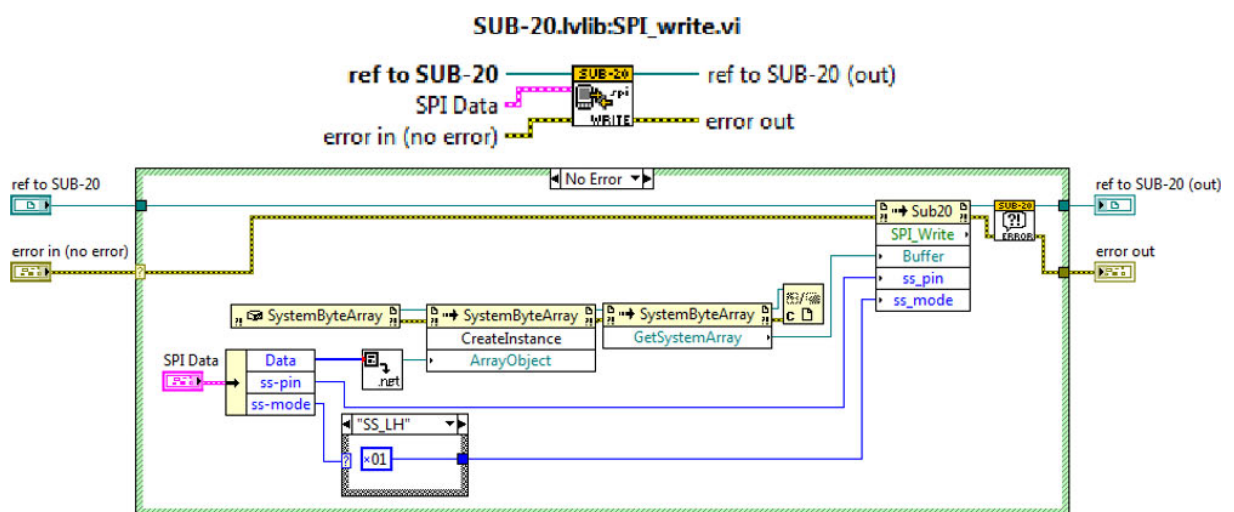


Figura 4.12: Driver SUB-20: SPI\_write.vi

**Lectura SPI:** Lee los datos provenientes del bus SPI. Al igual que en la escritura es necesario indicar el pin SS y el modo de funcionamiento.

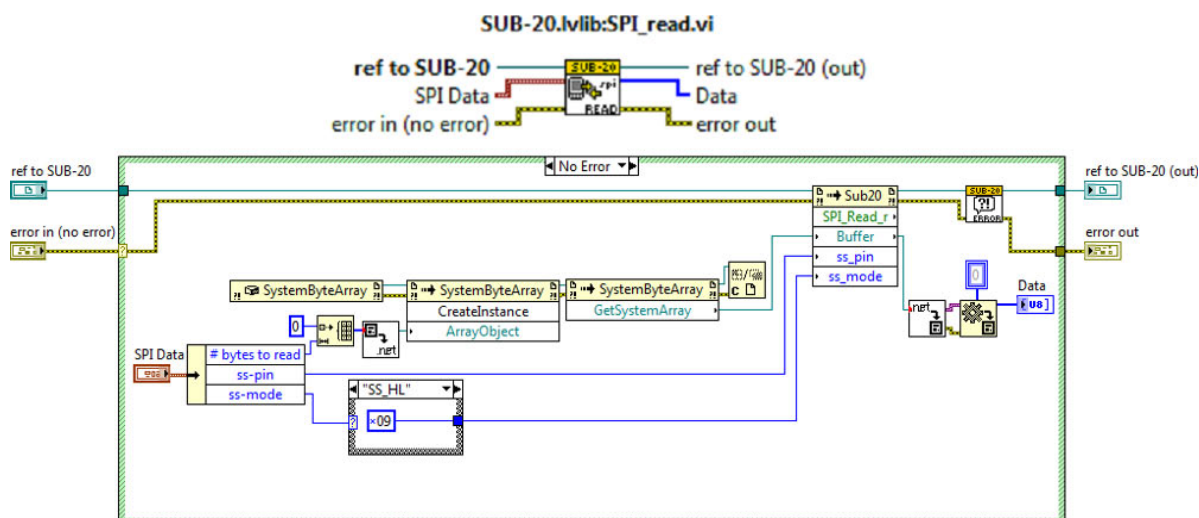


Figura 4.13: Driver SUB-20: SPI\_read.vi

**Cierre SUB-20:** Cierra la referencia con la tarjeta de SUB-20.

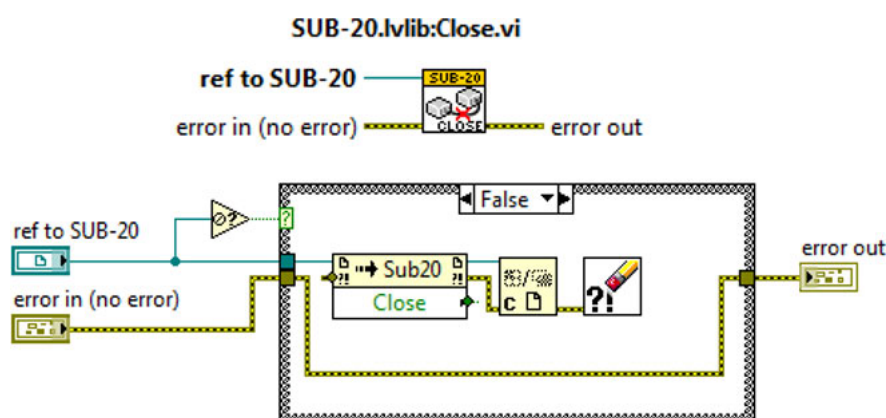


Figura 4.14: Driver SUB-20: Close.vi

La manera de enviar órdenes a la tarjeta Sub-20 mediante los drivers proporcionados explicados anteriormente es la siguiente. Desde los programas de los equipos o desde el propio programa principal se encolan estas órdenes. Los comandos deben llevar la información de con qué tipo de interfaz se quiere comunicar (GPIO, SPI, I2C) y los datos necesarios para cumplir dichas órdenes. De esta manera, si una configuración requiere de varias órdenes y varias interfaces, estas órdenes se irán enviando una a una.



En el caso de cierre del programa principal el mecanismo es al revés, se envía desde la parte de comunicaciones hasta los programas de los equipos la orden de cierre y éstos envían al programa principal las órdenes dirigidas al hardware correspondientes para dejar el sistema en un estado de apagado.

#### **4.2.1.2 Funcionamiento de la aplicación principal**

Nada más arrancar la aplicación, esta crea las colas necesarias para las comunicación y los eventos de usuario. Estos eventos de usuario tienen dos cometidos: atender a posibles errores desencadenando las acciones para cerrar la aplicación y, cuando se pulsa el botón de salir, avisar cuando los programas de los equipos se hayan cerrado para terminar la ejecución de la aplicación principal.

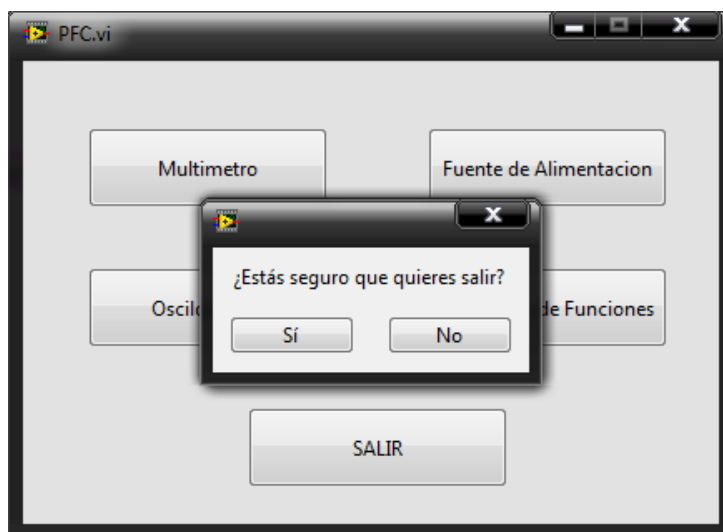
Acto seguido y sin necesidad de que el usuario realice ninguna acción, se lleva a cabo la configuración inicial de todos los componentes hardware del sistema, incluida la propia tarjeta SUB-20. Las acciones necesarias para esta primera configuración del hardware se van encolando para que se ejecuten en el orden correcto por parte de la tarjeta SUB-20. Estas acciones de configuración son las siguientes:

- Configurar las interfaces de la tarjeta SUB-20, esto es: habilitar las líneas GPIO y configurarlas como entrada o como salida según la necesidad, habilitar el bus I2C configurando la velocidad de transmisión y habilitar el bus SPI configurándolo para que se pueda comunicar con los integrados.
- Habilitar las líneas del expensor de puertos y configurarlas como salida.
- Poner todas las salidas de todos los conversores digital-analógicos a cero.
- Configurar todos los potenciómetros a un estado inicial.

Una vez terminada esta configuración inicial, se activa la lectura de las señales provenientes de la tarjeta SUB-20.

La aplicación queda a la espera de la pulsación de cualquiera de los botones de los equipos o del botón salir. Si se pulsa cualquier botón de equipo, se abre el panel frontal de dicho equipo, si no estaba ejecutándose, y si se estaba ejecutando,

se trae el panel frontal a primer plano. Si se pulsa el botón de salir, primero pide confirmación (ver figura 4.15), si se da a que “no” el programa sigue con su ejecución. Si se da a que “sí” primero se para el temporizador del evento de lectura de señales y acto seguido se manda la orden de cerrar los paneles frontales de los equipos que estén abiertos. Cuando se cierran todo los paneles frontales abiertos, se genera el evento de usuario encargado de terminar la ejecución el programa principal y cerrar el panel frontal.

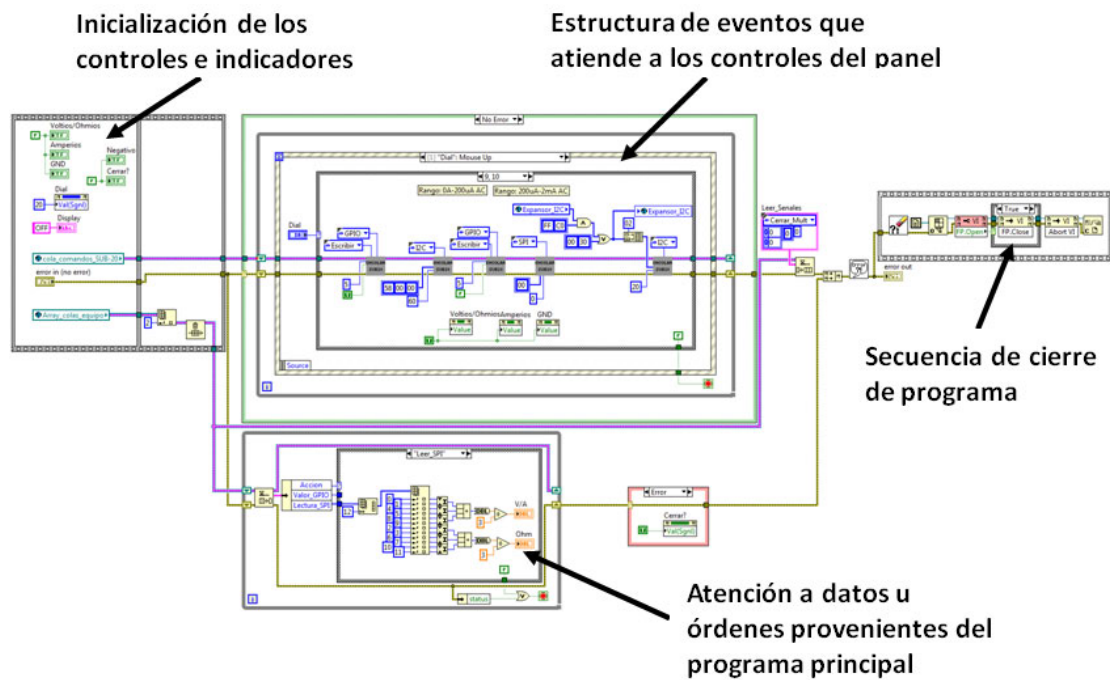


**Figura 4.15: Mensaje de confirmación de salir**

### 4.2.2 Módulos de Equipos

Los módulos de cada equipo tiene la misma estructura aun siendo diferentes el hardware que los sustenta. La forma de inicializar los módulos, de cerrarlos, de comunicarse con el programa principal e incluso la atención a los paneles frontales se realiza de la misma manera.

Además de estas similitudes, los propios diagramas de bloques son parecidos y se pueden dividir en cuatro partes: inicialización de controles e indicadores, atención al panel frontal, atención de órdenes provenientes del programa principal y, por último, cierre de programa (ver Figura 4.16). Estas partes, salvo la secuencia de cierre por ser idéntica en cada equipo, se explicarán en el apartado correspondiente de cada equipo.



**Figura 4.16: Ejemplo de diagrama de bloques de un equipo**

Primero se explicará por encima cada una de estas partes comunes y a continuación se entrará en detalle en cada módulo.

- Inicialización de los módulos

En el momento que, desde el programa principal, se pulsa el botón del equipo que sea, el programa correspondiente de este equipo empieza a ejecutarse. El primer paso es inicializar todos los controles e indicadores a su valor por defecto. También se selecciona, dentro del *array* de colas de equipos, la cola correspondiente al equipo elegido.

El último paso en la inicialización del equipo se lleva a cabo dentro de la estructura de eventos encargada de atender a los controles del panel frontal. Este paso consiste en inicializar los componentes hardware correspondientes enviando órdenes al programa principal (mediante un VI independiente) y de éste a la tarjeta SUB-20. Así, por ejemplo, si en la inicialización de un equipo se necesitan configurar varios componentes, se irán encolando las órdenes y se atenderán según el orden establecido. Al utilizar estructuras de colas, si se pulsa algún botón del panel frontal antes de haber acabado con la inicialización del hardware, estas se atenderán después de terminar dicha inicialización.

- Atención a los paneles frontales

Al pulsar un botón del programa principal se abre el panel frontal del equipo pulsado. Este panel frontal intenta imitar el panel frontal de un equipo real, de esta manera todo el manejo se hace más sencillo e intuitivo para el usuario.

Una vez que se ha abierto el panel frontal y se han inicializado todos los controles e indicadores ya se puede empezar a configurar el equipo como se desee. Para ello solamente basta con pulsar los botones correspondientes en el panel frontal de equipo. Haciendo esto, la estructura de eventos del programa del equipo hará las acciones que le correspondan a dicho botón. También afectará a la estructura de eventos los cambios producidos por algunos de los indicadores.

La comunicación con el programa principal, y por consiguiente con el hardware, se realiza en ambas direcciones, es decir, desde los programas se envían comandos al hardware y desde el hardware se reciben alarmas que tienen que ser atendidas por el programa del equipo correspondiente. Estas dos direcciones de comunicación se llevan a cabo de diferente manera.

Como se ha dicho anteriormente, la comunicación desde el programa del equipo hacia el hardware se lleva a cabo mediante la pulsación de los distintos botones en los paneles frontales que desencadenan acciones en el programa. Algunas de las acciones requieren de configuración del hardware del equipo. Para ello a cada pulsación de un botón se atiende y se envía al programa principal los comandos que sean necesarios. El encargado de realizar esta tarea es un VI independiente llamado “Encolar\_SUB20” cuyo único propósito es encolar los comandos en la cola de órdenes de la tarjeta SUB-20.

- Atención de órdenes o datos desde el programa principal

Desde el programa principal también es necesario enviar datos a los programas de los equipos. Estos datos se encolan en la cola correspondiente del equipo y son atendidos por el programa del equipo que sea. Estos datos pueden ser lecturas de medidas o indicadores que provocan cambios en la configuración del equipo.

Los datos que reciben los programas de los equipos provenientes del programa

principal son diferentes para cada equipo. La única orden que reciben todos por igual y de la misma manera es la orden de cierre. Así por ejemplo, los programas correspondiente al generador de funciones solamente recibe por parte del programa principal la orden de cierre, el resto de programas reciben además las medidas tomadas o alertas de cambio de configuración.

Cuando se recibe la orden de cierre, en el programa se ejecuta la misma secuencia de acciones que si se hubiera cerrado el panel frontal. Esta parte se explica a continuación.

- Cierre de los programas de los equipos

La acción de cerrar el programa correspondiente a un equipo puede provenir de tres formas: error del programa, cierre del panel frontal o salida de la aplicación global.

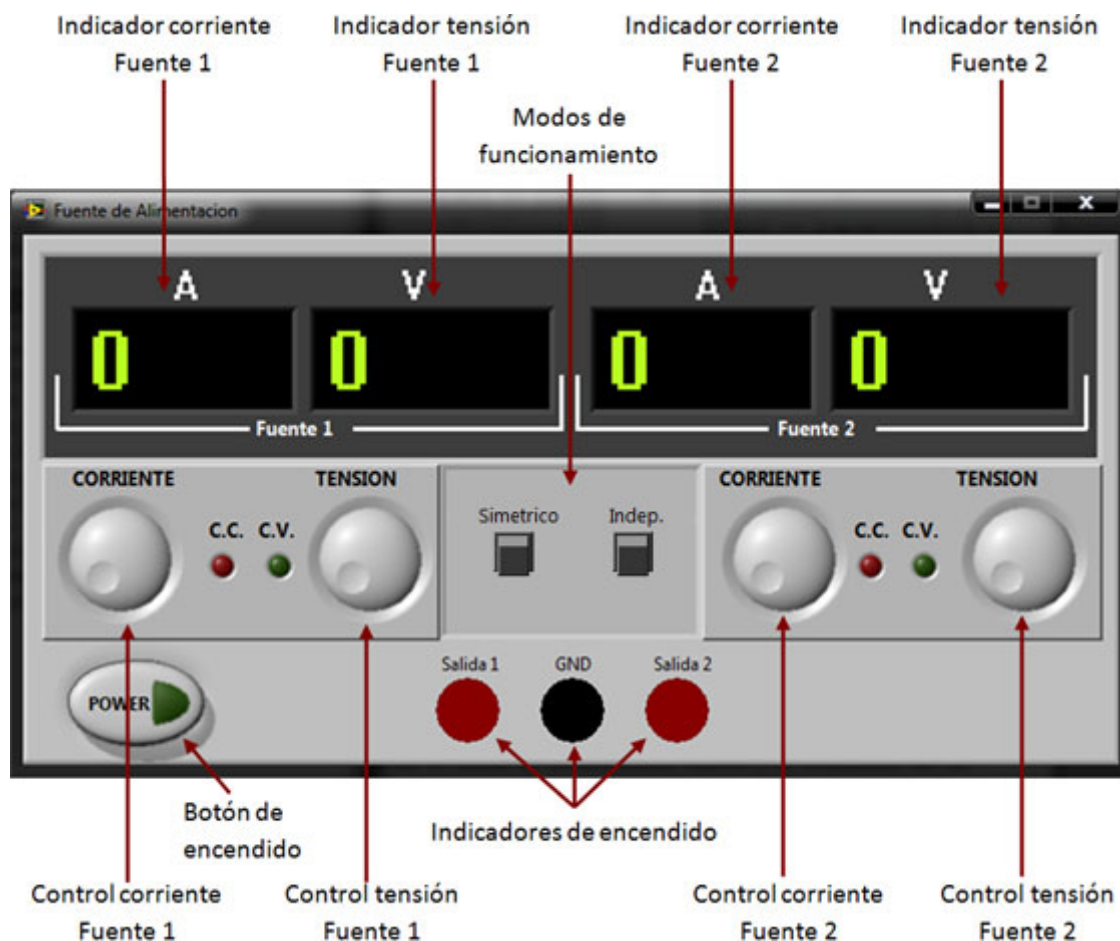
La primera de las maneras, la de error, obviamente no es la deseada. En el momento en el que se detecta un error, principalmente por error en la comunicación con la tarjeta SUB-20, se lleva a cabo el cierre de la aplicación. Este fallo puede provocar el mal funcionamiento del hardware debido a que se quedará con la configuración anterior a que se produzca el error. Si se da este error, será recomendable apagar el programa y el hardware e iniciar de nuevo todo.

De la segunda manera, por cierre de panel frontal, existe un caso en la estructura de eventos que gobierna los botones de dicho panel frontal encargado de enviar las órdenes correspondientes al hardware. Estas órdenes son las de dejar todos los componentes hardware en la situación por defecto. Si se cierra un programa de equipo de esta forma se puede volver a abrir tan sólo pulsando el botón correspondiente en el programa principal.

Por último, como se ha explicado anteriormente, si se pulsa el botón de salir de la aplicación principal se envía la orden de cerrar cada programa de equipo abierto. Una vez que se ha recibido la orden de cerrar, la estructura de eventos entra en el mismo caso que la de cerrar el panel frontal, dejando a todos los componentes hardware en su situación por defecto y cerrando el panel frontal.

#### 4.2.2.1 Programa Fuente de Alimentación

Al ejecutar este módulo aparecerá la ventana correspondiente con el panel frontal de una fuente de alimentación (ver figura 4.17).



**Figura 4.17: Panel frontal del programa Fuente de Alimentación**

Los controles e indicadores y sus valores iniciales están listados a continuación:

- Mandos de tensión y corriente de las dos salidas a cero.
- Indicadores de cortocircuito y circuito abierto apagados.
- Modo de funcionamiento en independiente.
- Indicadores de funcionamiento apagados
- Botón de “*power*” apagado.

Hecha esta inicialización, la ejecución del programa entra en la estructura de eventos que gobierna todos los controles e indicadores. El primer paso es enviar la orden al conversor digital-analógico MCP4728 presente en la placa del equipo la

orden de poner todas sus salidas analógicas a cero. Esta orden es debida a que la fuente de alimentación comienza su ejecución apagada.

A partir de este momento, el usuario puede modificar cualquier control y esto tendrá efecto en la salida de la fuente de alimentación. Hay que tener en cuenta que para estos cambios se lleven a cabo el control de *power* debe de estar pulsado para “encender” la fuente de alimentación.

### Botón de encendido

En un principio, este botón se encuentra en posición OFF haciendo que en las salidas no haya tensión, también los indicadores de encendido se mantendrán apagados. Cualquier cambio en los controles mientras este botón este apagado no tendrá efecto. En el momento en el que el botón esté en posición ON, la configuración de los distintos controles del panel frontal se verá mostrada en las salidas de la fuente de alimentación. Si se vuelve a pulsar este botón llevándolo a la posición OFF, en las salidas volverá a no haber tensión, se apagará los indicadores de encendido y los cambios en los controles no tendrán ningún efecto en las salidas.

### Controles de tensión y corriente

Los controles de tensión alcanzan valores entre 0 y 12V con pasos de 0,01V y los de corriente entre 0 y 300mA con incremento de 10mA. Dependiendo del modo de funcionamiento de la fuente de alimentación, estos controles funcionan de manera diferente como se detalla en el **Capítulo 5 - Manual de Usuario**.

Cuando se gira cualquiera de estos mandos, el valor aparece instantáneamente en el indicador correspondiente, pero el cambio en la configuración no se ve reflejado en las salidas hasta que no se suelte dicho mando. El motivo es para no saturar la comunicación con el envío continuo de datos. De esta manera, si se cambia un mando de tensión, por ejemplo, de 0 V a 10V solamente se envía la orden a la tarjeta SUB-20 de poner a la salida 10V y no todos los valores intermedios hasta llegar a esos 10V. Lo mismo ocurre con los mandos de corriente.

### Modos de funcionamiento

Según el modo de funcionamiento, los controles que mandan sobre las salidas son diferentes. De este modo se tiene que para el modo independiente cada control de tensión y corriente maneja la salida de la fuente que le corresponde. En el modo simétrico se deshabilitan los controles de la fuente 2 y en las salidas se obtiene el mismo valor marcado por la fuente 1 con la diferencia de que la salida de la fuente 2 está invertida.

Los valores de tensión y de corriente de las salidas pueden cambiar de valor según el modo seleccionado, por tanto cada vez que se cambie de modo es necesario volver a enviar los valores de las fuentes al conversor digital-analógico que controla este equipo.

### Indicadores de cortocircuito

Como su propio nombre dice, este indicador advierte de la posibilidad de que a la salida se haya producido un cortocircuito. En el caso de que se produzca, en el programa del equipo se realizarán las operaciones necesarias para poner la tensión de la fuente cortocircuitada a cero. De esta manera se evitan posibles daños internos en el hardware. También se emite una alarma sonora. La manera de detectar el cortocircuito se explica en el **Capítulo 3.3.2 - Diseño Hardware – Bloque detector de cortocircuito**.

### Cierre del programa

Tanto si el cierre de este programa es por cierre del panel frontal como si proviene de la aplicación principal, las acciones son las mismas: se ponen todas las salidas a cero y el relé que controla los modos de funcionamiento se deja en abierto, como si estuviese en modo independiente.



#### 4.2.2.2 Programa Multímetro

Este programa es más simple que el del equipo fuente de alimentación al disponer solamente de un control y un indicador de medida, además de los indicadores de encendido que varían su valor dependiendo de la medida escogida. El panel frontal se muestra en la Figura 4.18.



**Figura 4.18: Panel frontal del programa Multímetro**

El tiempo de actualización de las medidas y el indicador de signo queda marcado por el tiempo de lectura de todas las señales. La toma de las medidas es independiente de este programa del multímetro, o del cualquier otro. Esto es así debido a que se leen todas las señales al mismo tiempo. Por lo tanto, aunque el multímetro esté en posición OFF, se seguirán tomando medidas y leyendo señales y el programa principal enviándolas a los programas correspondientes, lo único es que no se mostraran en el indicador de medida.

Al igual que con la fuente, cuando el control de medida está en la posición OFF, los indicadores de funcionamiento estarán apagados y se encenderán en cualquiera de los otros casos.

Este programa se mantiene en un estado de espera hasta que se toca el mando de control o llega una medida desde el programa principal. Cuando esto último ocurre, se muestra por pantalla la medida correspondiente a la selección que indique el control del tipo de medida.

Se toman tres medidas consecutivas y se calcula la media de esas tres medidas. Como se explica en el **Capítulo 3.5 - Diseño Hardware, Módulo Multímetro**, el encargado de convertir las señales en datos digitales es un conversor analógico-digital de dos canales, uno para las medidas de tensión y corriente, y otro para resistencia. Al programa del multímetro llegan las dos medidas pero sólo se procesa y se muestra por pantalla la que corresponda por la selección del tipo de medida, mientras que la otra se desecha.

#### 4.2.2.3 Programa Generador de Funciones

En este equipo generador de funciones se puede configurar el tipo de onda, la amplitud, la frecuencia y el offset. Cuando se varían los controles de offset o de amplitud, en el indicador se muestra el valor, en el momento en el que se suelta el control se vuelve a mostrar el valor de la frecuencia.

La configuración inicial, aunque esté en estado apagado, será de la siguiente manera:

- Forma de onda sinusoidal
- Amplitud 1V
- Sin offset
- Frecuencia 1kHz.

Al igual que con la fuente de alimentación, estos valores se pueden modificar pero no tendrán efectos en la salida hasta que no se pulse el botón de encendido.

El panel frontal de este programa presenta la apariencia de la Figura 3.19.



**Figura 4.19: Panel frontal del programa Generador de Funciones**

#### Botón de encendido

Mientras el botón de encendido esté en posición OFF, todos los cambios realizados por los mandos no se ven reflejado en la salida. En el momento que se pulsa el botón, la configuración que esté programada provoca los cambios correspondientes en los componentes hardware de este equipo.

#### Selección de escala de frecuencias

Al pulsar cualquiera de los botones que dispone este mando se realizan todas estas acciones:

- Se deshabilita el botón pulsado para no poder pulsarlo de nuevo y se habilitan el resto de botones con valor OFF
- Se envía la configuración al hardware para cambiar de condensador según la escala seleccionada.

- En el programa, se entra en el estado de “frecuencia” para cambiar el valor del indicador de frecuencia y que se vea el valor correcto.

### Control de frecuencia

El funcionamiento de este control es el mismo que los mandos de tensión y corriente de la Fuente de Alimentación, cuando se mueve el mando se ve inmediatamente en el indicador y cuando se suelta se envía la configuración. Por tanto el control de frecuencia tiene dos partes, una de visionado del valor en el indicador y otra de envío de datos hacia el equipo hardware, y las dos dependen también de la selección de escala de frecuencia.

En la primera, el indicador de frecuencia solo pondrá la cifra del valor de la frecuencia sin poner múltiplos. Esto es, para los rangos de frecuencia entre 2 y 2kHz el indicador marcará valores entre 2 y 2000, mientras que para los rangos de frecuencia entre 2kHz y 2MHz, el indicador volverá a marcar valores de entre 2 y 2000.

En el envío de la configuración, la selección de la escala de frecuencia también es importante para calcular el valor de la resistencia necesaria del ajuste fino de frecuencia (ver Capítulo 3.4 – Diseño Hardware, Bloque Generador de Funciones - Frecuencia).

### Forma de onda

La configuración de la forma de onda se realiza inmediatamente al pulsar cualquier botón. Al pulsar un botón se realiza lo mismo que con la selección de escala de frecuencia, se deshabilita el botón pulsado y se deshabilita el resto en posición OFF.

Debido a las características del integrado generador de funciones XR2206, las salidas de las ondas sinusoidal/triangular y la cuadrada están en diferentes pines. Además, las señales triangular y sinusoidal tienen diferentes amplitudes. Al elegir la forma de onda en el programa se tienen que enviar todas estas distintas configuraciones.

### Offset

El mando de offset es igual que el mando de frecuencia. Mientras se está cambiando, estos cambios de valor, se ven reflejados en el indicador de frecuencia. Y cuando se suelta el control, se envía la información para configurar el offset. También se vuelve a mostrar por el indicador la frecuencia programada.

Antes de enviar los datos de configuración del *offset* se tiene que distinguir si es positivo o negativo, para enviar los datos al canal del conversor digital-analógico que corresponda.

### Amplitud

Este mando funciona igual que el del *offset*, cuando se está moviendo el valor aparece en el indicador de frecuencia y cuando se deja se envía la información y en el indicador vuelve a aparecer la frecuencia.

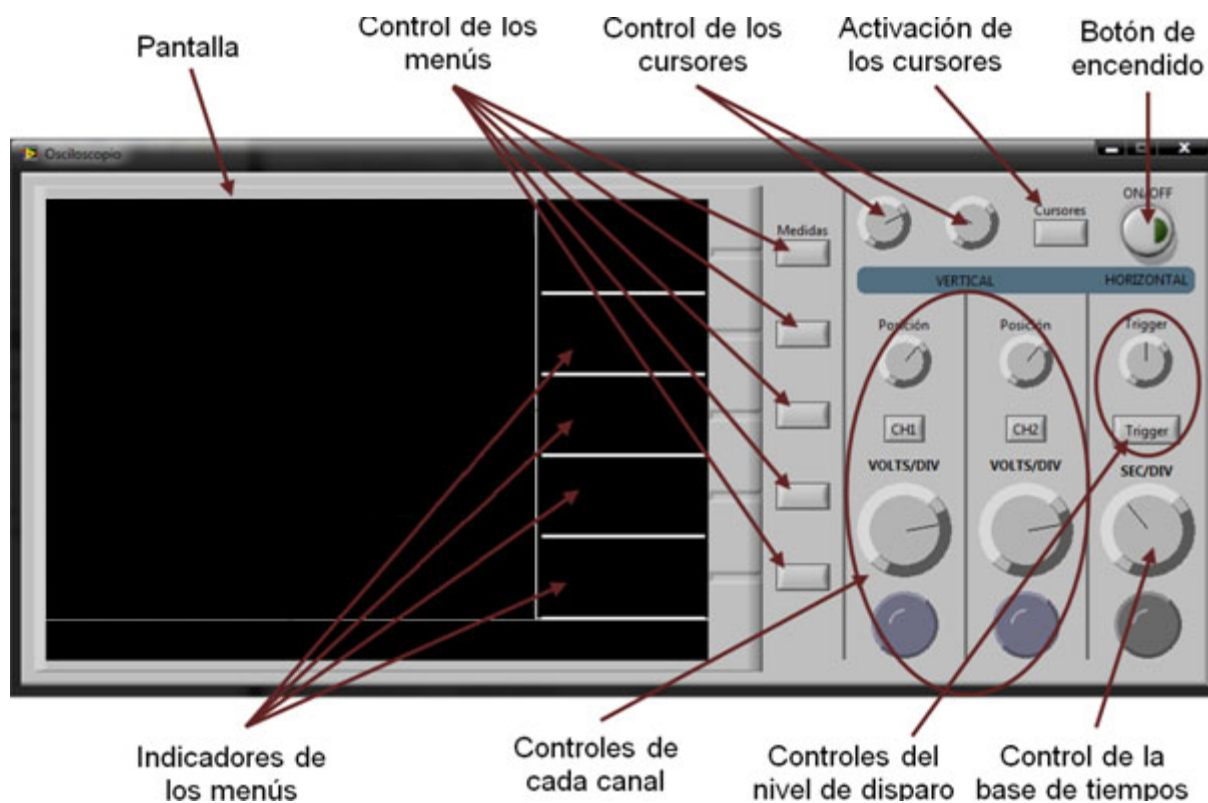
#### **4.2.2.4 Programa Osciloscopio**

La estructura básica de este programa es igual que en los anteriores equipos pero la complejidad es mayor debido al gran número de controles e indicadores de los que consta (ver Figura 4.20), además del gran número de opciones de configuración de los que dispone.

La configuración inicial es la siguiente:

- Ambos canales deshabilitados.
- Los mandos de Voltios/División en 1V
- La base de tiempos en 500us
- Medidas y cursores deshabilitados.

A pesar de tener tantos controles, solo unos pocos de ellos envían información de configuración al hardware. El resto de controles modifican la visualización de la señal o sirven para tomar las medidas. Los controles que modifican algún componente en el hardware son los de Voltios/División y la base de tiempos.



**Figura 4.20: Panel frontal del programa Osciloscopio**

La entrada permitida en el convertor analógico-digital ADS7882 encargado de convertir las señales de cada canal es de 0 a 2.5V, por tanto el acondicionador de señal debe cambiar la amplitud de la señal para adaptarla a esos valores. Por tanto para conseguir ese rango de tensión se tiene que modificar la ganancia del amplificador de instrumentación situado a la entrada de los canales (ver **Capítulo 3.6 – Diseño Hardware, Módulo Osciloscopio**). Al modificar el mando del Voltios/División de un canal, se manda el valor correspondiente al potenciómetro que controla la ganancia.

Aun así, como los valores del potenciómetro digital están cuantificados, existen errores de offset en cada componente por mucho que se quieran arreglar y el propio convertor analógico-digital tiene errores en las conversiones, por software también se modifica las muestras de la señal para que coincida con el valor exacto a la entrada del canal.

El otro mando que envía configuración al hardware, la base de tiempo, lo que hace es modificar la frecuencia en las conversiones del ADC y, por consiguiente, en la escritura de la memoria FIFO. De esta manera, se puede conseguir que con

señales de entrada de frecuencia alta se tomen más muestras por segundo para poder visualizarlas más detalladamente en la pantalla del osciloscopio.

Estos dos controles y resto de mandos se explican a continuación.

### Botón de encendido

Al igual que ocurre con el resto de equipos, hasta que no se pulsa este botón, las acciones no se tienen en cuenta.

### Pantalla

La pantalla es donde se visualizan las señales de los dos canales, además de los cursores. El rango de entrada del conversor analógico-digital utilizado en este módulo (ver **Capítulo 3.6.2 – Diseño Hardware, Bloque Conversor Analógico-Digital**) es de 2.5V. Al convertir a datos digitales señales dentro de ese rango de tensiones las señales representadas en la pantalla toman como valores de 0 a 2,5V.

LabVIEW ofrece un gran número de opciones en la representación de gráficas, las que se utilizan en este proyecto permiten elegir la visibilidad de señales, colores de las señales representadas, tipo de línea de las señales y cursores.

En la pantalla también se incluye los indicadores de los diferentes menús que se pueden seleccionar: medidas, cursores y acoplo de los canales. Los valores de las medidas cambian según la medida seleccionada y se actualizan junto con las señales representadas. Esta actualización se produce cuando se reciben los datos de las señales. Los valores de los cursores, al no depender de las señales visualizadas en la pantalla, se actualizan inmediatamente con el movimiento del mando de los cursores.

### Habilitación de canales

Los canales se pueden habilitar independientemente. En el momento que se pulsa el canal, este aparece en la pantalla. Al deshabilitar un canal, no se dejan de tomar muestras, sino que solamente deja de ser visible ese canal en pantalla.

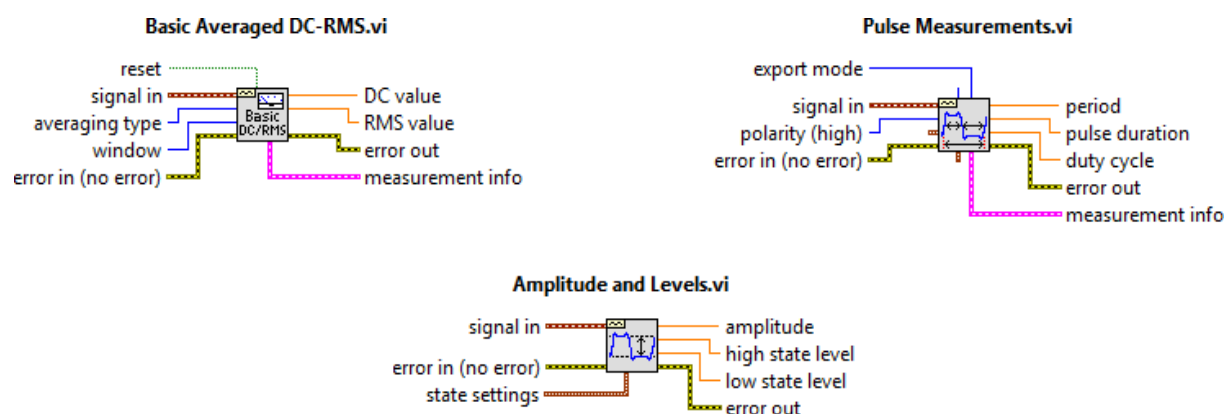
Cuando se habilita un canal, inmediatamente aparece en la pantalla el modo de

acoplamiento de ese canal. Por defecto está en alterna pero se puede cambiar a acoplo en continua. La manera de hacer esto es mediante software, a las muestras tomadas de la señal se resta la medida del valor continuo antes de mostrarlo por pantalla.

### Botón Medidas

El funcionamiento exacto de las medidas y el manejo del menú de éstas se explica en el capítulo siguiente, **Capítulo 5 – Manual de Usuario**.

En LabVIEW existen VIs que directamente calculan todas las medidas que este equipo puede ofrecer (ver Figura 4.21). Se han utilizado los VIs que permiten realizar las siguientes medidas: voltios pico a pico, amplitud, valor medio, valor eficaz, valor máximo, valor mínimo, frecuencia y período.



**Figura 4.21: VIs de medidas**

Con anterioridad se ha mencionado que los valores de la señales mostradas en la pantalla tienen valores que van desde 0 hasta 2,5V, por tanto las medidas que indiquen estos VIs van a tomar valores dependiendo de ese rango. Para solucionar esto, es necesario tener en cuenta los valores de los mandos de Voltios/División de ambos canales.

Cada vez que se actualiza la pantalla con una nueva toma de muestras, las medidas se actualizan a la vez aunque se muestren por pantalla las seleccionadas. Si no hay señal o no se puede medir en el indicador correspondiente de la medida aparece “Sin señal”.



Si se vuelve a pulsar el botón de medidas, se dejan de visualizar las medidas pero se siguen tomando con cada actualización de las señales. Al volver al pulsar el botón de medidas de nuevo, las medidas que aparecen son las de por defecto.

### Cursores

Cuando se pulsa el botón de cursores, estos aparecen en la pantalla. Dos horizontales con líneas continuas y dos verticales con líneas discontinuas. La continuidad o no de las líneas de los cursores significa cuál de los cursores está seleccionado.

El valor real del cursor es sobre el rango de valores de la pantalla, es decir desde 0 a 2.5V y desde 0 a 500 muestras. Para que los cursores muestren los valores reales se multiplican por los valores de los controles de Voltios/División y la base de tiempos.

### Nivel de disparo

Para representar la señal según la tensión correspondiente al nivel de disparo primero se averigua si el nivel de disparo programado se encuentra entre los niveles mínimo y máximo de la señal representada. Si es negativo, se representa la señal sin modificar. Si es afirmativo se compara cada muestra tomada y la posterior comprobando si el nivel programado se encuentra entre las dos muestras. Si no está, se pasa a la siguiente muestra. Si está, se desechan todas las muestras anteriores y se visualiza por pantalla la señal a partir de la muestra coincidente con el nivel de disparo. De esta manera da la sensación de que la señal que se ve en pantalla siempre es la misma aunque la toma de muestras no sea continua en el tiempo. Si el nivel de disparo no se encuentra dentro de los niveles mínimo y máximo de la señal, se muestra la señal según venga de cada canal, por lo que cada refresco de pantalla se verá en diferente posición.

Este nivel de disparo también se puede configurar en flanco positivo o negativo. La detección del signo del flanco es, una vez se ha localizado el nivel de disparo en la señal, comparando la muestra con el disparo y viendo si es mayor o menor.

Para realizar todas estas acciones se utiliza un sub-programa llamado “*Trigger*”

cuyo diagrama de bloques se puede ver en el apartado 4.3.5 – Otros programas utilizados.

### Voltios/División

Como se ha explicado con anterioridad, en la pantalla solo se representan señales de 0 hasta 2.5V debido a los niveles de entrada de los conversores utilizados en este módulo osciloscopio. Pero los valores de entrada de cada canal pueden alcanzar hasta los 20V máximos. Cada vez que se ajusta el valor de este mando, se envía la configuración correspondiente para la ganancia del acondicionador de señal de la entrada para adecuarla a esos 2.5V (ver **Capítulo 3.6 Diseño Hardware, Modulo Osciloscopio**).

En los valores menores de Voltios/División, aquellos que van desde los 10 mV hasta los 100 mV, el acondicionador no es suficiente para alcanzar el valor de 2.5 V y es necesario adecuar la visualización de la señal a través del programa.

También, debido a los errores de offset y tolerancia del acondicionador hace falta retocar los datos convertidos para mayor exactitud de la señal de entrada.

En la tabla 4.1 se muestra el valor de la ganancia con la resistencia y el código hexadecimal necesarios según el valor del mando Volts/Div.

Volts/Div	Valor máximo en pantalla	Ganancia acondicionador	Resistencia teórica	Código hexadecimal	Resistencia real
5 V	± 20 V	2	10 kΩ	FF	9,68 kΩ
2 V	± 8 V	5	2,5 kΩ	CE	2,5 kΩ
1 V	± 4 V	10	1,11 kΩ	34	1,13 kΩ
500 mV	± 2 V	20	526,31 Ω	13	528,85 Ω
200 mV	± 800 mV	50	204,08 Ω	04	216,9 Ω
100 mV	± 400 mV	100	101,01 Ω	00	179 Ω
50 mV	± 200 mV	200	50 Ω	00	179 Ω
20 mV	± 80 mV	500	20 Ω	00	179 Ω
10 mV	± 40 mV	1000	10 Ω	00	179 Ω

**Tabla 4.1: Valores del acondicionador del Osciloscopio**

### Base de tiempos

La base de tiempos controla el tiempo de la señal que se muestra en la pantalla. Este mando controla a su vez la frecuencia de muestreo de las señales de entrada.

De esta manera según su valor, se muestrea a unas frecuencias o a otras.

Por las propias características de la tarjeta SUB-20, la señal de reloj proveniente de ésta, a partir de los 2MHz es más difícil de ajustar el valor, incluso habiendo un gran error entre el valor programado y el valor final. Para intentar disminuir el error, la frecuencia máxima será de 2 MHz y se tomarán menos muestras de tal manera que por pantalla coincidan con la base de tiempos.

La tabla 4.2 indica los valores de la frecuencia de muestreo así como el número de muestras tomadas correspondientes al valor de la base de tiempos.

SEC/DIV	Valor máximo en pantalla	Frecuencia de muestreo	Muestras tomadas
20 ms	200 ms	2,5 kHz	500
10 ms	100 ms	5 kHz	500
5 ms	50 ms	10 kHz	500
2 ms	20 ms	25 kHz	500
1 ms	10 ms	50 kHz	500
500 us	5 ms	100 kHz	500
200 us	2 ms	250 kHz	500
100 us	1 ms	500 kHz	500
50 us	500 us	1 MHz	500
20 us	200 us	2 MHz	400
10 us	100 us	2 MHz	200
5 us	50 us	2 MHz	100
2 us	20 us	2 MHz	40
1 us	10 us	2 MHz	20

**Tabla 4.2: Valores frecuencia muestreo Osciloscopio**

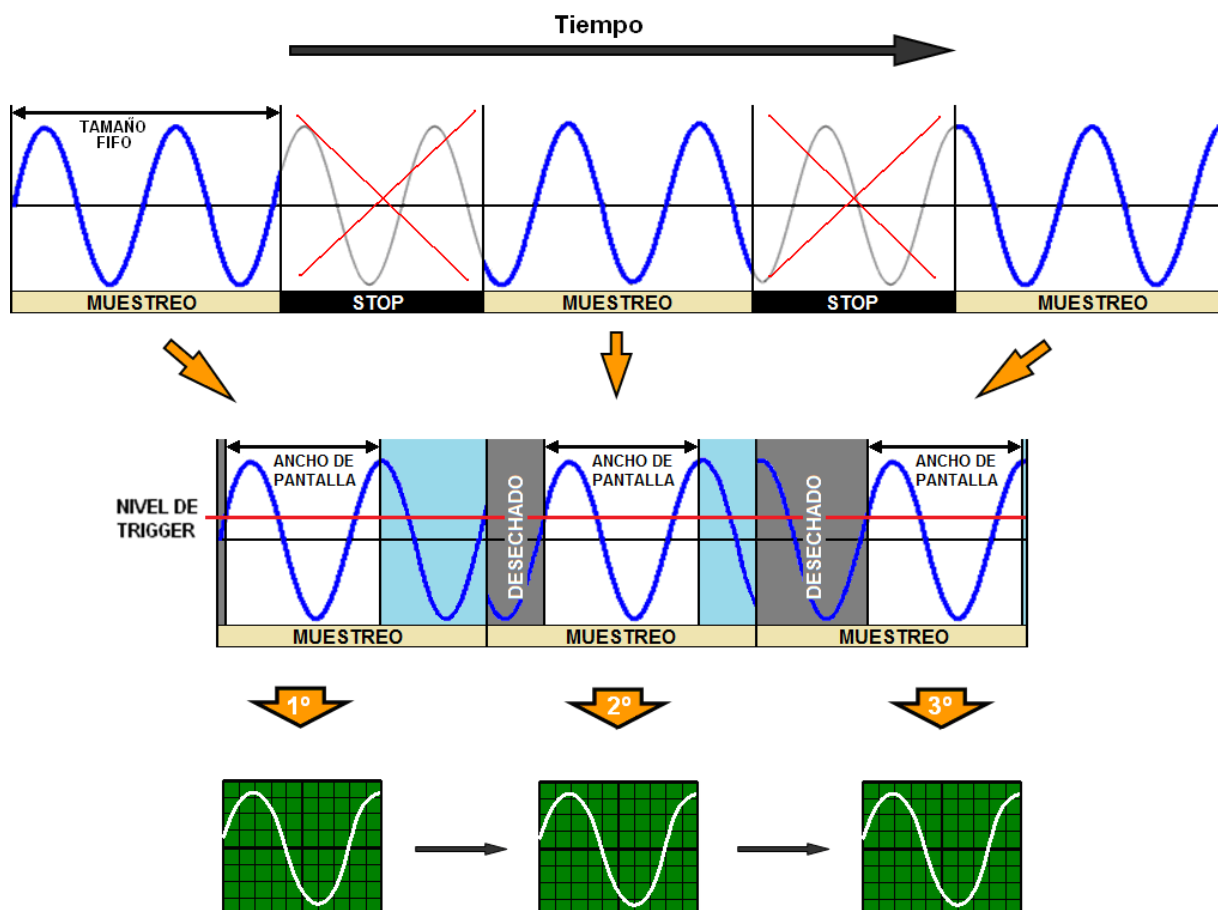
#### 4.2.2.4.1 Adquisición de datos

La adquisición de datos no se puede hacer en tiempo real principalmente porque se necesita liberar durante un tiempo las comunicaciones entre el programa y la tarjeta SUB-20 para las órdenes y medidas del resto de los equipos. Además también se descarta la adquisición en tiempo real debido a la gran cantidad de datos que habría que almacenar en la memoria para los rangos temporales de menor valor.

La solución es utilizar la adquisición en modo continuo, es decir, muestrear a intervalos continuos, dejando periodos de tiempo intermedio sin adquirir. Posteriormente, las muestras tomadas se visualizan en pantalla partiendo de un

nivel de tensión (nivel de disparo). Con este modo se contempla la señal en la pantalla como si se hubiese muestreado a tiempo real. El inconveniente de este modo de adquisición es que sólo permite muestrear señales periódicas.

En la Figura 4.22 se muestra como se conformaría la señal en la pantalla del osciloscopio con el paso del tiempo.



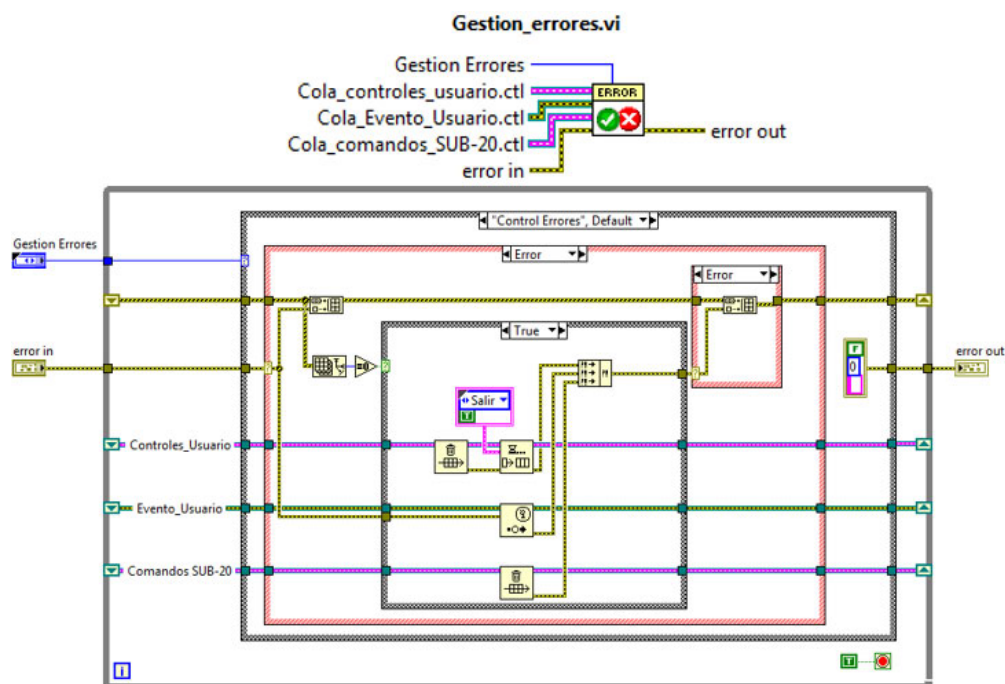
**Figura 4.22: Adquisición en modo continuo**

Es importante para que el modo continuo funcione bien, muestrear más del tiempo necesario para rellenar la pantalla completa, puesto que a la hora de adjuntar dos muestreos consecutivos una parte de la señal adquirida en cada uno se desecha.

#### 4.2.2.5 Otros programas utilizados

##### Gestión de errores

Este programa únicamente se utiliza en el programa principal. Su cometido es detectar cualquier error producido ya sea por fallo en la comunicación con la tarjeta SUB-20 o por fallo del propio programa y empezar las acciones necesarias para cerrar el programa. El diagrama de bloques se muestra en la Figura 4.23.



**Figura 4.23: Subprograma Gestion\_errores**

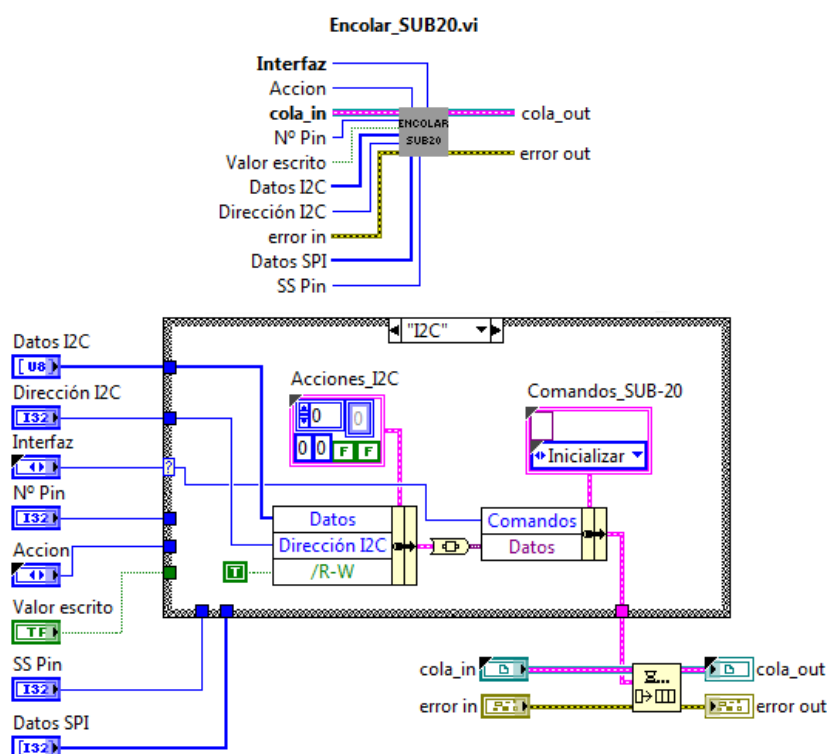
Este VI consta de un único bucle *while* que sólo se ejecuta una vez por cada llamada a dicho programa. Las opciones que permite son:

- **Inicialización:** este caso lo único que hace es coger las colas del programa principal para poder operar con ellas desde este programa.
- **Control de errores:** si ha habido un fallo en el programa principal, lo guarda, borra los datos de todas las colas y envía la orden de salir de la aplicación. Si se producen más errores después de encontrar el primero son ignorados.
- **Reportar errores:** como su propio nombre indica, reporta los posibles errores producidos. Si no ha habido ningún error no devuelve nada.

## Encolar SUB-20

Este VI se utiliza en todos los programas de los equipos e incluso en el programa principal. Su cometido es encolar los datos hacia la tarjeta SUB-20 que van dirigidos hacia los componentes hardware del sistema.

Como se ve en la Figura 4.24, este programa es muy sencillo, solamente se compone de una estructura “case” que varía según la interfaz de la tarjeta SUB-20 a la que se envían los datos.



**Figura 4.24: Subprograma Encolar SUB-20**

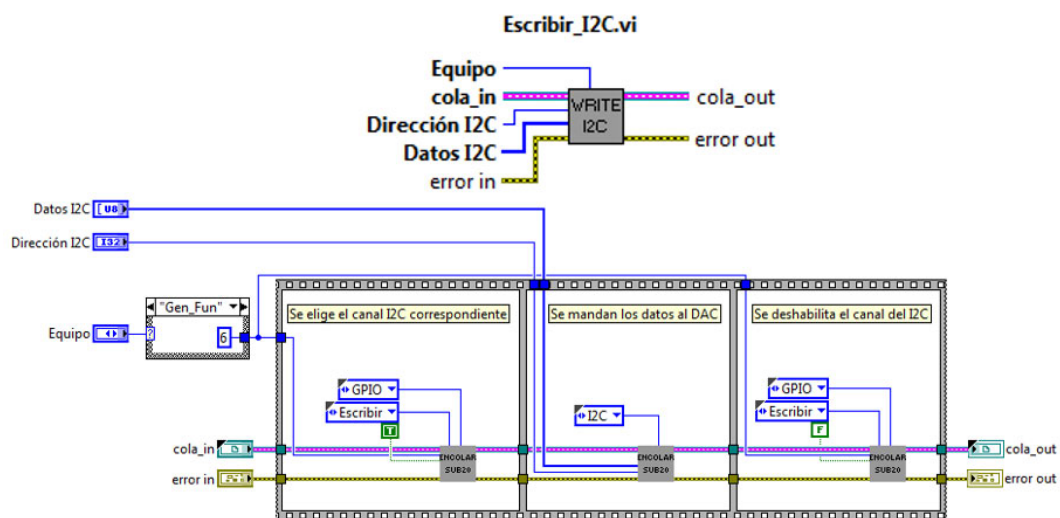
Los valores de las entradas de este VI varían según la interfaz escogida. Así, para el bus I2C serán necesarios añadir los valores de la dirección I2C y los datos I2C. Para el bus SPI hacen falta el pin que pone la señal de habilitación y los datos a escribir. Y para GPIO, el número de entrada/salida sobre el que se va a operar y si se va a leer o escribir.

Cuando se encolan las acciones, son atendidas por orden de llegada por el programa principal que a su vez las envía, mediante los drivers correspondientes, a la tarjeta SUB-20.

## Escribir I2C

Para poder comunicarse con los componentes controlados mediante I2C situados en las placas, es necesario primero configurar el *hub* I2C PCA9516 para encaminar las líneas del bus I2C SDA y SCL hacia la placa correspondiente. Por tanto, la secuencia sería: se configura el *hub*, se envían los datos I2C y se vuelve a dejar el *hub* como estaba. O de otra manera, mirando desde la perspectiva de la tarjeta SUB-20: se pone a nivel alto el pin GPIO necesario para encaminar el *hub*, se envían los datos I2C y se pone el pin de antes a nivel bajo (ver Figura 4.25).

Estas acciones se podrían hacer por separado utilizando el VI anterior, pero al ser siempre las mismas acciones y en el mismo orden, se ha decidido hacer un VI aparte para simplificar los programas. Además como se puede ver en la Figura 4.25, este VI incluye en tres llamadas al programa “Encolar\_SUB-20” consecutivas.



**Figura 4.25: Subprograma Escribir I2C**

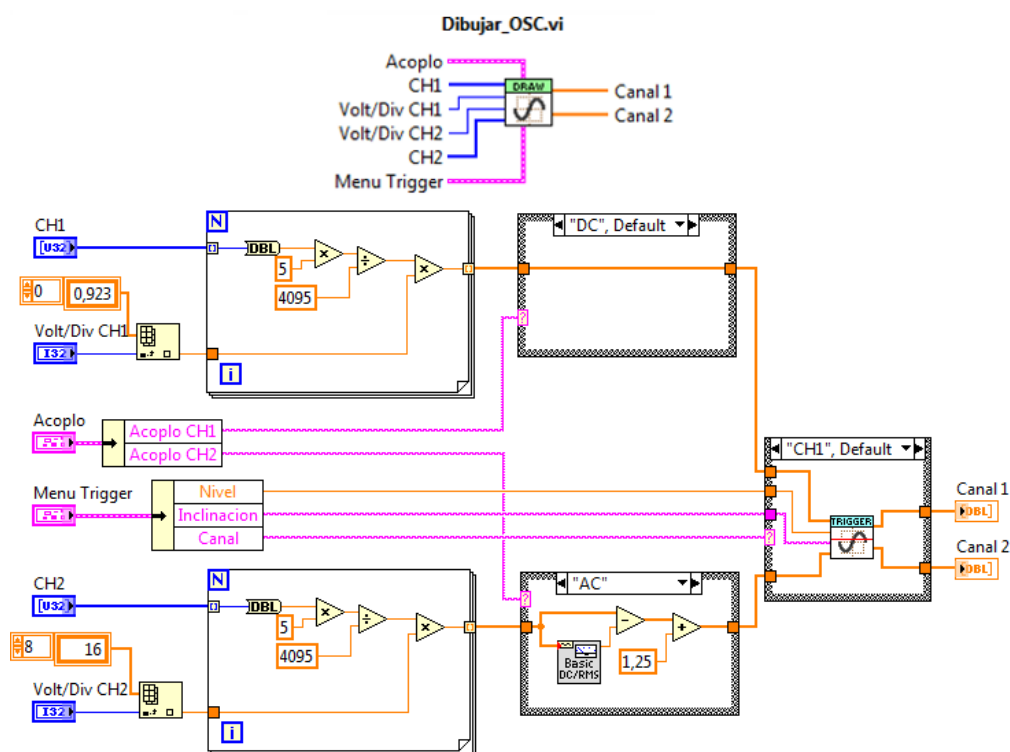
Aunque este subprograma consista en tres llamadas a “Encolar\_SUB-20”, las entradas cambian. Se mantienen las dos necesarias para la comunicación con el bus I2C y se añade una que indica el módulo del equipo con el que se va a comunicar.

## Dibujar Señal OSC

Su función es componer el *array* definitivo que se va a representar en la pantalla del osciloscopio, añadiendo a la señal las modificaciones que han podido ocasionar los valores de Voltios/División así como el acoplo. También se adaptan las señales según los valores escogidos del menú nivel de disparo haciendo uso del subprograma “Trigger”.

La manera de ajustar el acoplo es restar al *array* de la señal el valor medio de dicha señal y sumando 1,25 para mostrar la señal en el medio de la pantalla.

En el diagrama de bloques mostrado en la Figura 4.26 se observa que las operaciones de las señales en los dos canales son las mismas.

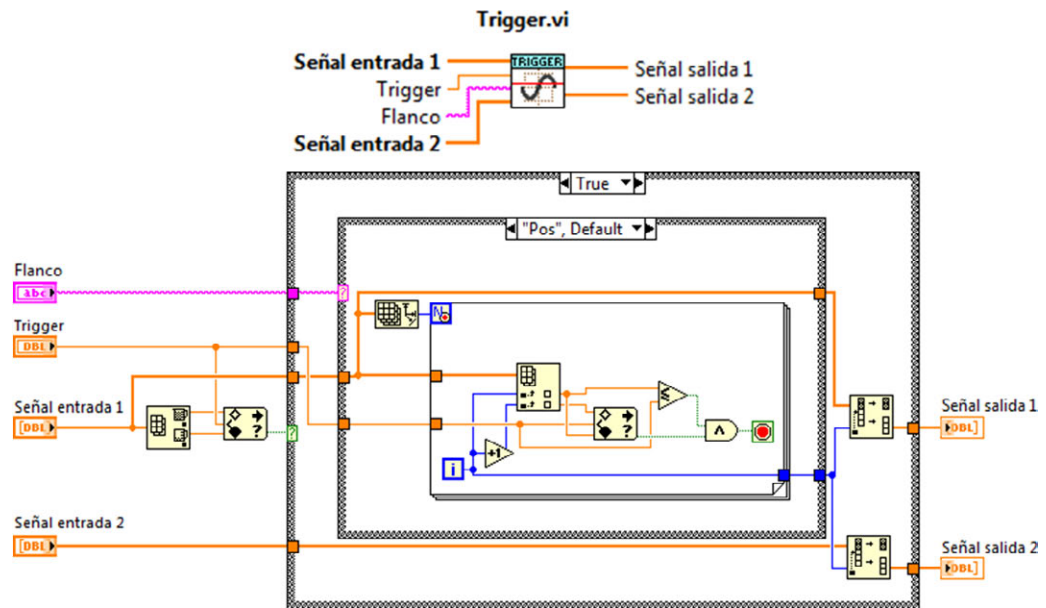


**Figura 4.26: Subprograma Dibujar\_OSC**

## Trigger

Este subprograma también se utiliza en el módulo osciloscopio solamente, concretamente dentro del sub-programa **Dibujar\_OSC**. Su funcionamiento ya se ha explicado en el apartado del programa del osciloscopio. El diagrama de bloques se muestra en la Figura 4.26





**Figura 4.27: Subprograma Trigger**



# 5. ■ MANUAL DE USUARIO

---



## 5.1. Introducción

Este manual servirá como guía del manejo del sistema y de especificar las diferentes configuraciones y conexiones posibles. Además de explicar la instalación y el manejo de la aplicación de control. Para evitar problemas con las librerías, es recomendable instalar tanto los controladores del hardware como la aplicación en el mismo directorio.

## 5.2. Instalación del controlador hardware

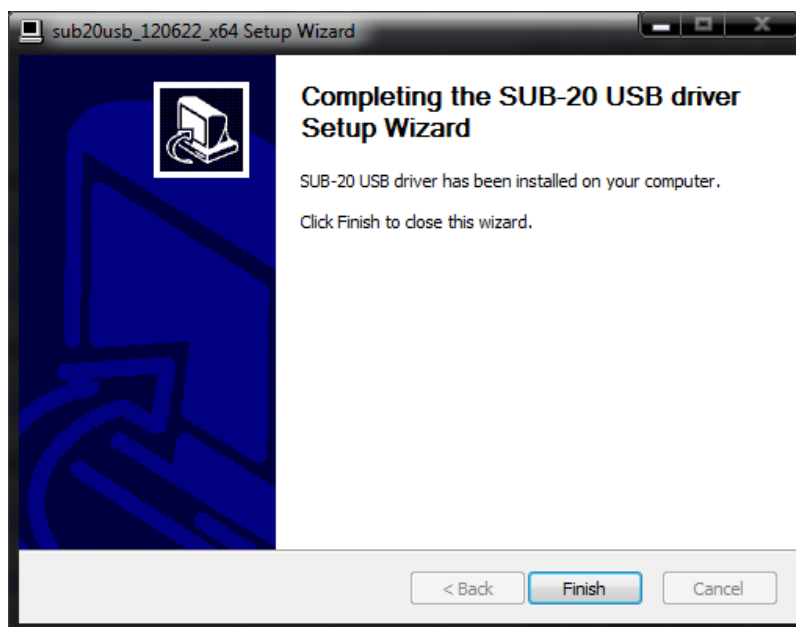
La comunicación entre la aplicación de control con el hardware se hace mediante la tarjeta multi-interfaz SUB-20 del fabricante DIMAX, por tanto será necesario instalar el controlador de la tarjeta. Para ello será necesario descargar el software correspondiente de la página web <http://www.xdimax.com/sub20/sub20.html>. Los controladores de la placa SUB-20 están disponibles para Windows 98, NT, 2000, XP, Vista, Win7, Win8 y también para Linux.

Una vez descargado, al ejecutar aparecerá la siguiente ventana mostrada en la Figura 5.1:



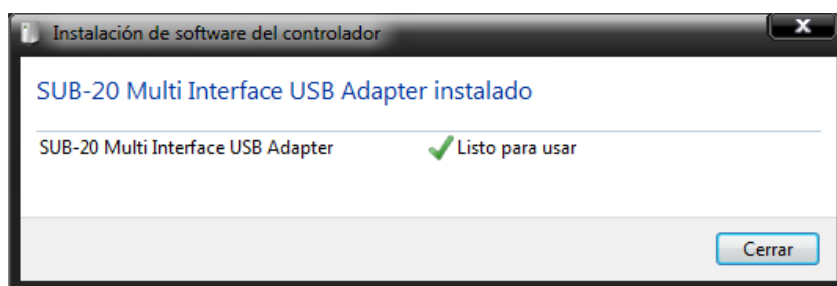
Figura 5.1: Ventana de instalación software SUB-20

Al pulsar en “*Install*”, se procederá a la instalación del controlador (tardará pocos segundos). Cuando se terminen de instalar aparecerá esta la ventana representada en la Figura 5.2



**Figura 5.2: Ventana de final de instalación software SUB-20**

La instalación de los controladores ya está terminada, sólo falta pulsar el botón “*Finish*” para cerrar el ayudante de instalación. Por último, para que la instalación del controlador esté completa, es necesario conectar el hardware al ordenador. Para este paso no es necesario enchufar el hardware a la red eléctrica. Cuando termine aparecerá la ventana de instalación con el aspecto mostrado en la Figura 5.3

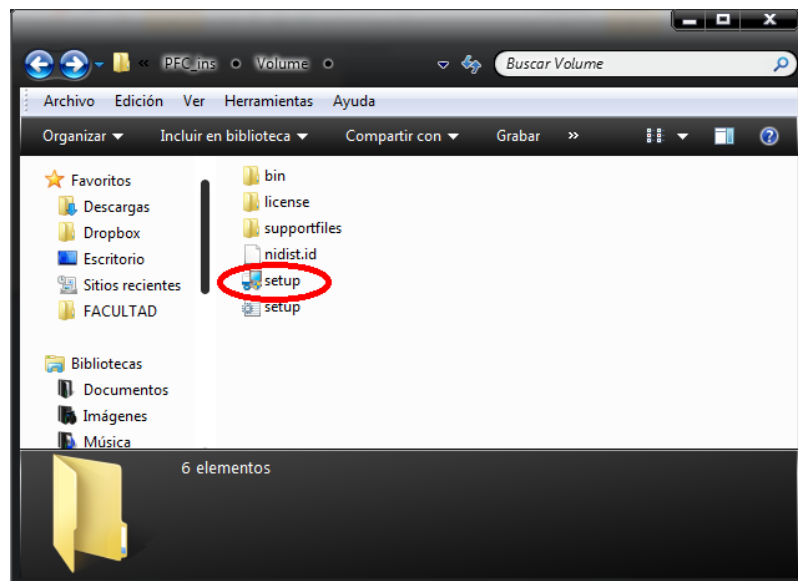


**Figura 5.3: Ventana de instalación controlador SUB-20**

### 5.3. Instalación de la aplicación LabVIEW

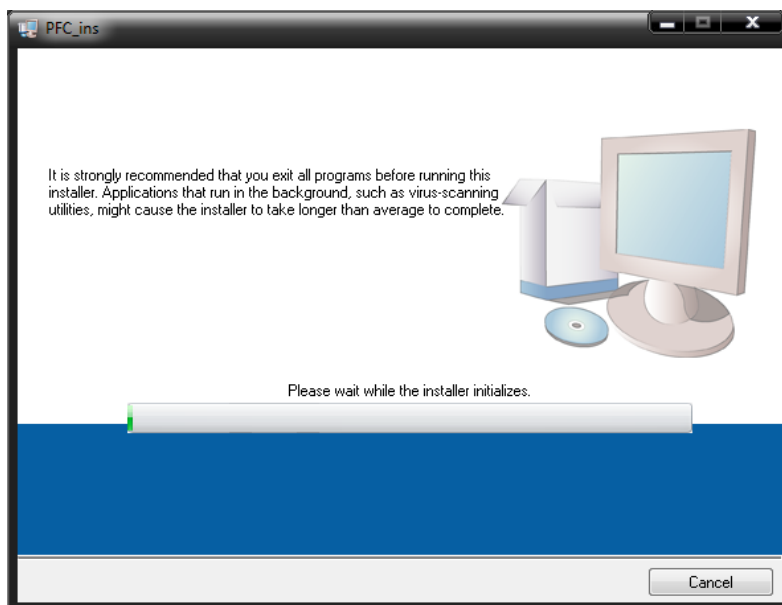
En este apartado se va a explicar los pasos para la instalación de la aplicación de control. Esta instalación no difiere mucho de la de cualquier otro programa. La instalación a modo de ejemplo se ha llevado a cabo con el sistema operativo Windows 7.

Una vez se tenga los controladores de la tarjeta SUB-20 instalados en el ordenador, se ejecuta la aplicación “*setup*” (Figura 5.4).



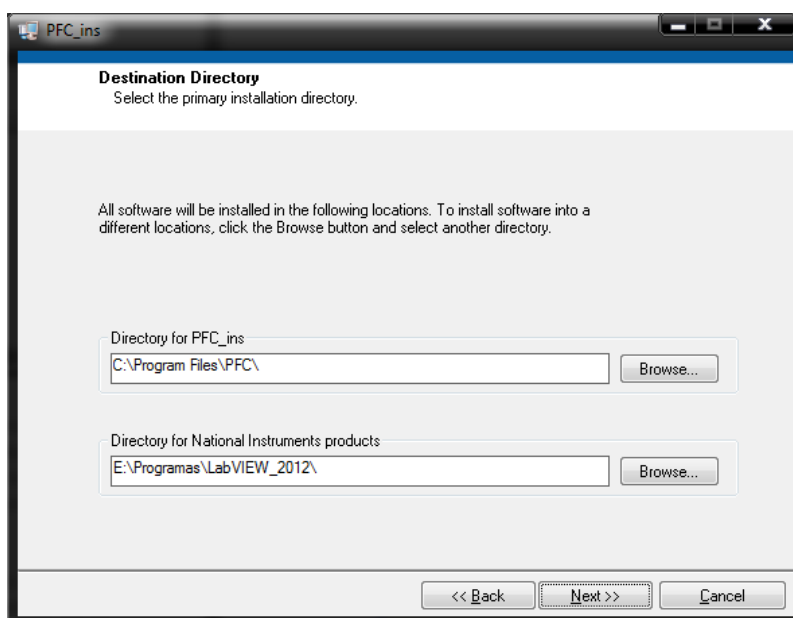
**Figura 5.4:** Ventana de Windows para instalar la aplicación

Al ejecutar el *setup*, aparecerá la ventana de la Figura 5.5. Dejar que cargue completamente para poder continuar:



**Figura 5.5: Ventana del asistente de instalación aplicación de control**

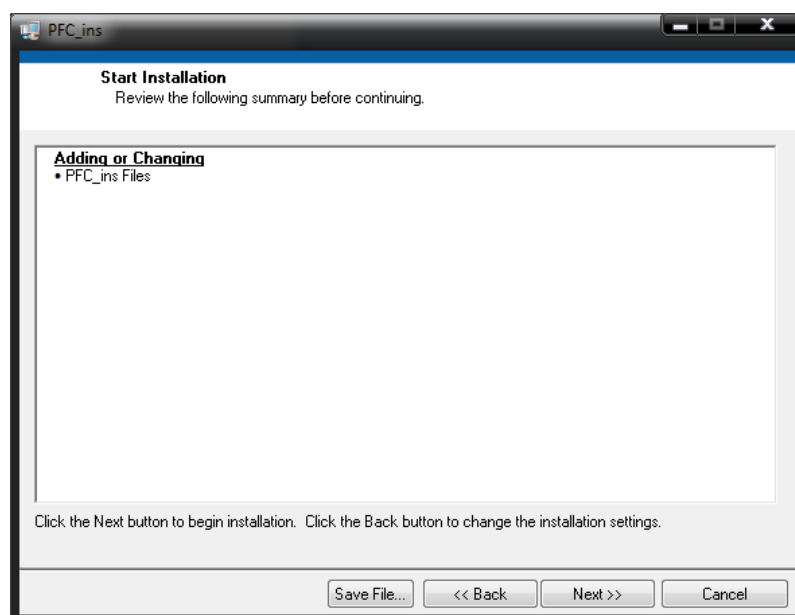
Cuando termine de cargar, aparecerá una nueva ventana (Figura 5.6) en la cual se debe escoger la carpeta destino de la aplicación. Se selecciona la carpeta donde se quiere instalar y se pulsa “*Next >>*”. Aunque aparezcan dos barras de directorio es recomendable elegir el mismo en las dos.



**Figura 5.6: Ventana de elección directorio destino de la instalación**

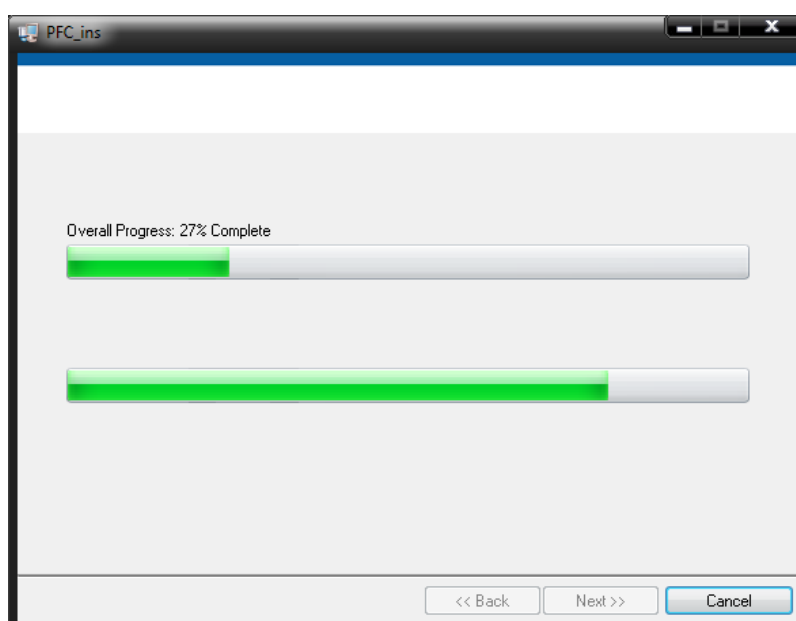
En la siguiente ventana (Figura 5.7) no hay que hacer nada. Pulsar “*Next >>*” para continuar.





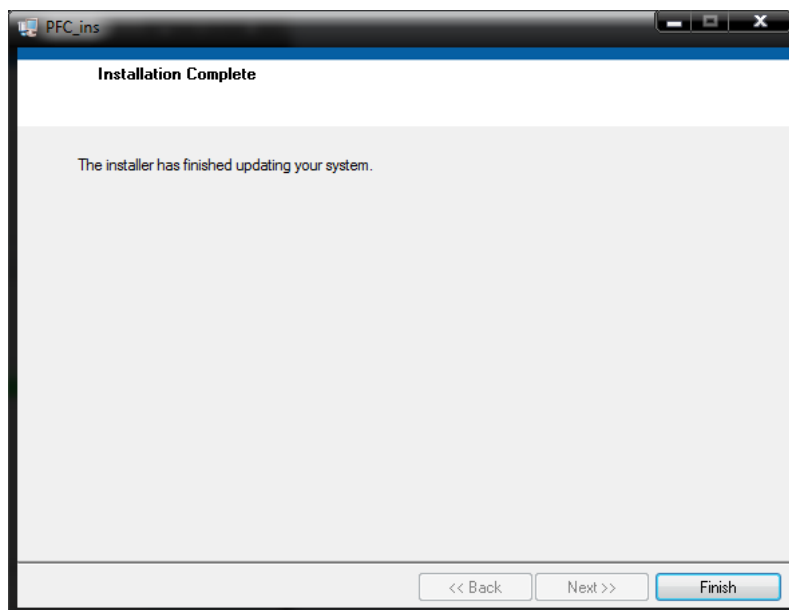
**Figura 5.7: Ventana de componentes que se instalan**

Esperar a que se instale completamente (Figura 5.8).



**Figura 5.8: Ventana del progreso de la instalación**

Ya está completada la instalación (Figura 5.9). Pulsar “*Finish*” para terminar y salir.

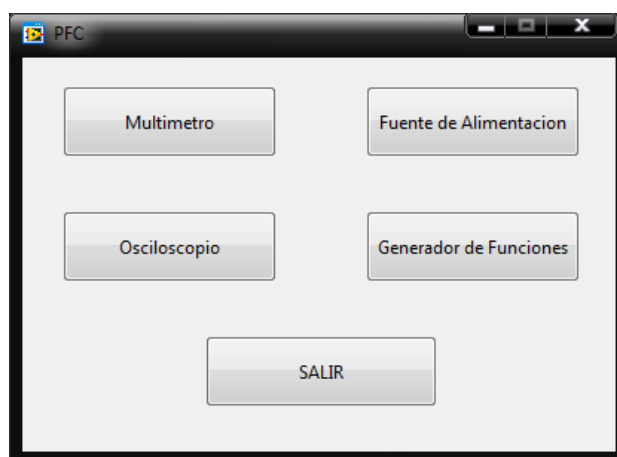


**Figura 5.9: Ventana final de la instalación**

## **5.4. Manejo de la aplicación**

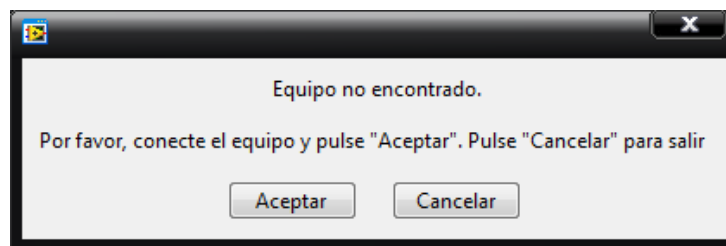
### **5.4.1. Programa principal “PFC.exe”**

Al iniciar la aplicación, se abre la ventana mostrada en la Figura 5.10



**Figura 5.10: Interfaz de la aplicación de control**

En el caso de que el equipo no esté conectado al ordenador o este no lo reconozca, aparece la ventana de la Figura 5.11.



**Figura 5.11: Ventana de error por falta de conexión el equipo al ordenador**

Para poder continuar hay que conectar el equipo al ordenador y pulsar el botón de “Aceptar”. Si se pulsa “Aceptar” sin haber conectado el equipo volverá a aparecer esta ventana. Si se desea salir de la aplicación directamente, pulsar “Cancelar”.

En el caso de que el equipo no esté conectado a la red eléctrica, el programa se cerrará directamente.

A partir de este momento ya se puede empezar a operar con los equipos. Lo único que hay que hacer es pulsar el botón del equipo con el que se quiera trabajar. Al pulsarlo se abrirá una ventana con el panel frontal de dicho equipo. Si se pulsa un botón de un equipo que ya esté abierto, la ventana de dicho equipo aparecerá en primer término.

La manera de salir de la aplicación es o bien pulsando el botón “SALIR” o bien cerrando la ventana de la aplicación principal. Si se sale mediante cualquiera de estas dos acciones, todas la ventanas de equipos abiertos se cerrarán también y se configurará el hardware al estado inicial.

## 5.4.2 Fuente de Alimentación

Al ejecutar este módulo aparecerá la ventana correspondiente con el panel frontal de una fuente de alimentación (ver figura 5.12). Los controles e indicadores y sus valores iniciales están listados a continuación:

El usuario puede modificar cualquier control y esto tendrá efecto en la salida de la fuente de alimentación. Hay que tener en cuenta que para estos cambios se lleven a cabo el control de *power* debe de estar pulsado para “encender” la fuente de alimentación, en caso contrario la salida permanecerá a cero.



**Figura 5.12: Interfaz de la Fuente de Alimentación**

### Botón de encendido

En un principio, este botón se encuentra en posición OFF haciendo que en las salidas no haya tensión, también los indicadores de encendido se mantendrán apagados. Cualquier cambio en los controles mientras este botón este apagado no tendrá efecto. En el momento en el que el botón esté en posición ON, la configuración de los distintos controles del panel frontal se verá mostrada en las salidas de la fuente de alimentación. Si se vuelve a pulsar este botón llevándolo a la posición OFF, en las salidas volverá a no haber tensión, se apagará los indicadores de encendido y los nuevos cambios en los controles no tendrán ningún efecto en las salidas.

### Controles de tensión y corriente

Los controles de tensión alcanzan valores entre 0 y 12V con pasos de 0,01V y

los de corriente entre 0 y 300mA con incremento de 10mA. Dependiendo del modo de funcionamiento de la fuente de alimentación, estos controles funcionan de manera diferente.

Para no sobrecargar el programa ni el hardware con el envío de mensajes, solo se actualizará las salidas cuando se suelten con el ratón estos controles.

#### Modos de funcionamiento

Según el modo de funcionamiento, los mandos que controlan cada una de las salidas son diferentes. De este modo se tiene que para el modo independiente cada control de tensión y corriente maneja la salida de la fuente que le corresponde, al igual que en el modo simétrico con la diferencia de que en este modo la salida de la fuente 2 está invertida.

#### Indicadores de tensión y corriente

Los indicadores de tensión de cada fuente muestran la tensión que hay a la salida de la fuente correspondiente mientras que el indicador de corriente no muestra la corriente que suministra cada fuente, sino la limitación de corriente programada para esa salida. Por ejemplo, si se configura una de las salidas con 5V y 30mA, eso significa a la salida hay 5 voltios y que la corriente máxima que puede suministrar es de 30mA, no que se estén consumiendo 30mA.

#### Indicadores de cortocircuito

Cuando se produce un cortocircuito este indicador se encenderá y, a continuación, se pondrá la salida a cero de la salida de la fuente correspondiente. Esto se hace para evitar posibles roturas en el circuito interno de la fuente.

### **5.4.3 Multímetro**

El funcionamiento de este equipo es más simple que el de la fuente de alimentación al disponer solamente de un control y un indicador de medida, además

de los indicadores de encendido (ver Figura 5.13).

Al principio de la ejecución de este programa, el multímetro estará en un estado de apagado estando tanto el control del tipo de medida como el indicador de medida en posición *OFF*. A partir de aquí el usuario puede cambiar el control de tipo de medida a cualquiera de las que se dispone.



**Figura 5.13: Interfaz del Multímetro**

Al igual que con la fuente, cuando el control de medida está en la posición *OFF*, los indicadores de funcionamiento estarán apagados y se encenderán en cualquiera de los otros casos.

En la pantalla, además del valor de la medida aparece un indicador de la medida elegida. Así para medidas de tensión continua aparece *VDC*, tensión alterna *VAC*, resistencia *OHM*, corriente continua *ADC* y corriente alterna *AAC*. Si se elige comprobar la continuidad, cuando hay continuidad por la pantalla aparece el mensaje "*Cont*" y suena una señal sonora.

La pantalla es de 3 dígitos y medio, cuando la medida se sale de rango, por la pantalla aparece el valor "1. ".

### 5.4.4 Generador de Funciones

En este equipo generador de funciones se puede configurar el tipo de onda, la amplitud, la frecuencia y el offset.

Al igual que con la fuente de alimentación, estos valores se pueden modificar pero no tendrán efectos en la salida hasta que no se pulse el botón de encendido.



**Figura 5.14: Interfaz del Generador de Funciones**

#### Botón de encendido

En un principio, este botón se encuentra en posición OFF haciendo que en la salida no haya señal, también el indicador de encendido se mantendrá apagado y en el indicador de frecuencia aparece el valor cero. Cualquier cambio en los controles mientras este botón este apagado no tendrá efecto en la salida. En el momento en el que el botón esté en posición ON, la configuración de los distintos controles del panel frontal se verá mostrada en la salida del generador de funciones. Si se vuelve a pulsar este botón llevándolo a la posición OFF, en la salida volverá a no haber

señal, se apagarán los indicadores de encendido y los nuevos cambios en los controles no tendrán ningún efecto en las salidas.

### Selección de escala de frecuencia

Los valores de frecuencia están comprendidos entre 2Hz y 2MHz. Para poder escoger un valor más preciso de frecuencia primero hay que escoger el rango en el que se encuentra. Los rangos que se pueden escoger comprenden una década cada uno.

### Control de frecuencia

Como se puede ver en la Figura 5.14, el control de frecuencia abarca los valores desde 2 hasta 20. Esto unido a la elección del rango de frecuencia hace posible seleccionar el valor deseado con más detalle.

### Control de amplitud

Este control configura la amplitud de la señal de la salida. Esta amplitud puede llegar desde los prácticamente cero voltios hasta los 10 voltios.

Cuando se está modificando este control se muestra el valor de la amplitud en el indicador de frecuencia. En el momento en el que se suelta este control, en el indicador de frecuencia vuelve a mostrar el valor de frecuencia.

### Control de *offset*

El control de *offset* configura el nivel de tensión continua que tendrá la señal final. Este nivel de tensión puede ser tanto positivo como negativo llegando desde los 5 voltios negativos hasta los 5 voltios positivos. En un inicio este control se encuentra en nivel cero.

Hay que tener en cuenta que debido al circuito hardware de este generador de funciones, el nivel más alto de la señal estará limitado por este hardware interno. Siendo este nivel máximo de unos 13 voltios.



Al igual que con la amplitud, cuando se está modificando este control se muestra el nivel de offset en el indicador de frecuencia. En el momento en el que se suelta este control, en el indicador de frecuencia se vuelve a mostrar el valor de frecuencia.

#### Control de forma de onda

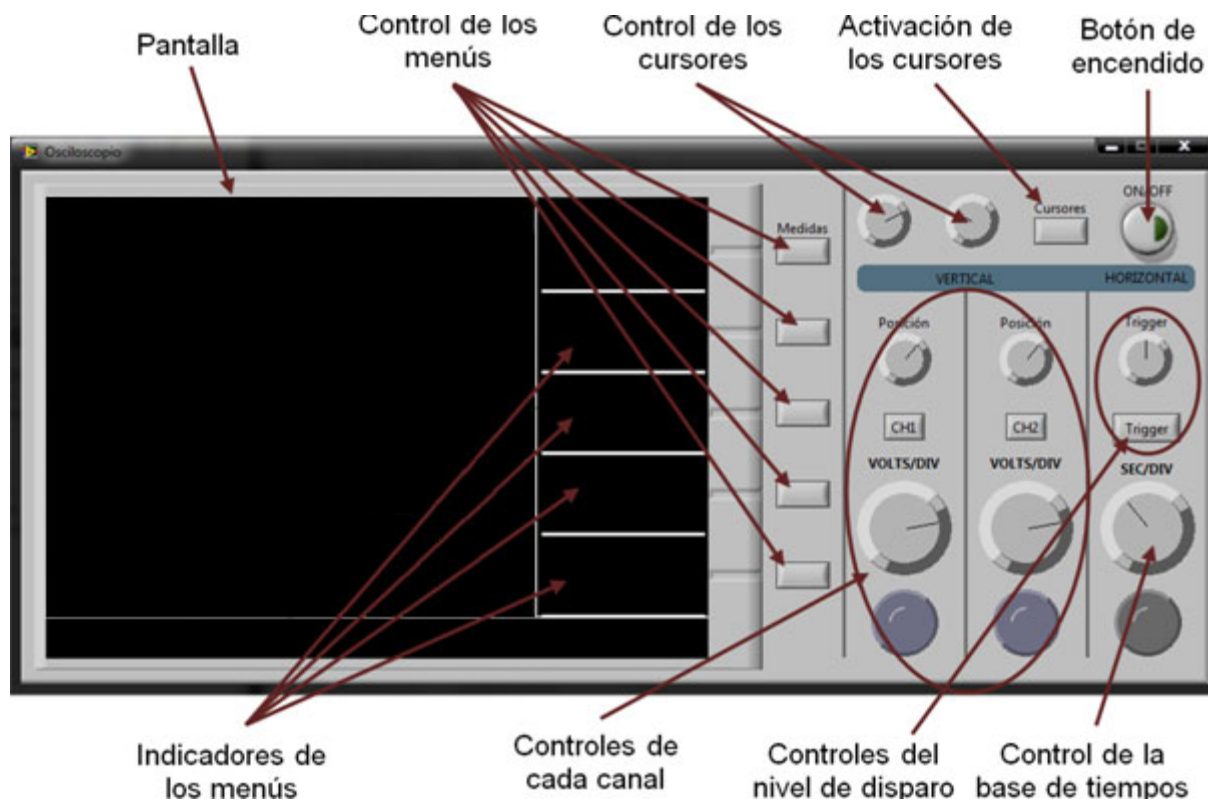
Como su propio nombre indica, este control configura la forma de onda de la señal de salida pudiéndose escoger entre una señal sinusoidal, triangular o cuadrada.

#### Indicador de frecuencia

En el indicador de frecuencia solo pondrá la cifra del valor de la frecuencia sin poner múltiplos. Esto es, para los rangos de frecuencia entre 2 y 2kHz el indicador marcará valores entre 2 y 2000, mientras que para los rangos de frecuencia entre 2kHz y 2MHz, el indicador volverá a marcar valores de entre 2 y 2000.

### 5.4.5 Osciloscopio

Este equipo es el más complejo de usar debido a todas las funcionalidades que ofrece. La apariencia se puede ver en la Figura 5.15.



**Figura 5.15: Interfaz del Osciloscopio**

#### Botón de encendido

Al igual que con el resto de equipos, al inicio, el osciloscopio se encuentra apagado. Cualquier modificación en los controles no tendrá efecto y en la pantalla no se mostrará nada.

Cada vez que se enciende el osciloscopio, los mandos aparecen con su valor por defecto. Así que si se cambia la configuración inicial de este equipo y se apaga, al volver encenderlo se perderá la configuración anterior al apagado.

#### Habilitación de canales

Aunque se pulse el botón de encendido del osciloscopio en la pantalla seguirá

sin aparecer nada. Cuando se pulse el botón de habilitación de ese canal, ya aparecerá por pantalla y también se encenderá el indicador de canal correspondiente. Además debajo de la pantalla aparecerá el valor de los Voltios/División del canal habilitado.

Para deshabilitar el canal lo único que hay que hacer es pulsar el botón de habilitación de nuevo.

### Control Voltios/División

Este control configura el valor de los voltios que hay en cada sección horizontal. Es decir, que si se configura un valor de 2V significa que entre una línea horizontal y otra hay 2V de señal. Esta configuración sólo se verá si el canal correspondiente está habilitado.

Los valores que se pueden elegir son 10mV, 20mV, 50mV, 100mV, 200mV, 500mV, 1V, 2V y 5V pudiendo tomar valores diferentes para cada canal. Por defecto, nada más encender el equipo se configura al valor de 1V en los dos canales.

Si se configura este control antes de habilitar el canal, una vez se habilita, la señal del canal correspondiente ya se tiene en cuenta la modificación.

### Control base de tiempos

Este mando controla el tiempo que hay entre las líneas verticales de la pantalla, del mismo modo que los mandos anteriores controlaban el nivel de tensión entre las horizontales. Por ejemplo, si se configura un valor de 1ms, significa que cada división vertical equivale a 1ms haciendo que se vean 10ms de la señal total.

Los valores configurables son 1us, 5us, 10us, 20us, 50us, 100us, 200us, 500us, 1ms, 2ms, 5ms, 10ms y 20ms siendo el valor por defecto de 500us. En este caso, a diferencia que con el Volts/Div, el valor es el mismo para los dos canales. Pero de la misma manera que con el anterior, los cambios realizados en este control se tienen en cuenta antes de habilitar cualquiera de los canales.

Este valor aparece en la parte central baja de la pantalla.

### Controles de posición

Estas dos ruedas controlan la posición vertical de la señal de su respectivo canal. El valor por defecto es la mitad de la pantalla para los dos canales, lo que se puede considerar como nivel cero. Los límites de estos mandos son los límites superior e inferior de la pantalla. Hay que tener cuidado con el nivel que se le da a estos mandos porque se pueden dar situaciones en las que las señales no se vean en la pantalla.

### Controles de cursores

Los controles para manejar los cursores son el botón de habilitación de los cursores, las ruedas para moverlos y los dos primeros botones del menú. A continuación se explica el funcionamiento de cada control.

Al pulsar el botón de habilitación aparecen los cursores en la pantalla, dos líneas horizontales que indican tensión y dos verticales que indican tiempo, y en el indicador de medidas aparecen los valores de estos cursores. En la primera línea del indicador de medidas aparece el primer cursor horizontal, en la segunda el segundo horizontal, en la tercera línea el primero vertical y en la cuarta el segundo vertical.

La medida que dan los cursores horizontales que indican tensión depende del mando de Voltios/División. Como se pueden escoger valores diferentes para cada canal, las medidas de estos cursores dependen del canal que se quiera medir. Para cambiar de canal se pulsa el primer botón del menú, de esta manera a cada pulsación de este botón se alternará entre los dos canales. Las medidas de los cursores verticales no cambian aunque se cambie de canal debido a que la base de tiempos es la misma para los dos canales.

Por defecto, al habilitar los cursores, los horizontales aparecen como una línea continua y los verticales una discontinua. Esto significa que los cursores que se manejan en este instante son los horizontales. Para poder manejar también los verticales es necesario pulsar el segundo botón del menú. En este momento los cursores verticales se vuelven líneas continuas y los cursores horizontales líneas discontinuas. De la misma manera que con el cambio de canal, si se vuelve a pulsar este segundo botón, se vuelve a la configuración inicial.

## Medidas

Una de las ventajas de los osciloscopios, además de poder ver las señales, es poder tomar numerosas medidas de las señales mostradas por pantalla. Para ello se pulsa el botón de medidas y automáticamente aparecerán en los indicadores de medida. Las dos primeras medidas se corresponden con el canal 1 y las dos siguientes se corresponden con el canal 2. Por defecto las medidas que aparecen son tensión pico a pico y amplitud, tanto para el canal 1 como para el canal 2.

Las medidas que se pueden elegir son: pico a pico, amplitud, valor medio, valor máximo, valor mínimo, frecuencia y periodo. La manera para elegir entre estas medidas es pulsando el botón adjunto al indicador de la medida. Se puede dar el caso de escoger dos medidas iguales. Si no hay señal o no se puede medir aparece “Sin señal” en el indicador correspondiente.

Como los indicadores de medidas y de los cursores son los mismos, estos indicadores mostrarán los valores según la opción elegida. Por ejemplo, si se está mostrando los valores de los cursores y se pulsa el botón de medidas, aparte de desaparecer los cursores de la pantalla, los indicadores cambian para mostrar los valores de las medidas configuradas.

## Nivel de disparo (*trigger*)

El nivel de disparo se puede configurar para cualquiera de los dos canales y tanto para detectar un flanco de subida como un flanco de bajada. Al pulsar el botón correspondiente al nivel de disparo, en los indicadores de medidas aparecen el canal y el flanco, por defecto el canal 1 y positivo. Al igual que con los cursores, para cambiar las opciones del nivel de disparo se utilizan los dos primeros botones de menú. El primero cambia el canal y el segundo botón cambia entre flanco positivo o negativo.



## 6. PRESUPUESTO

---





Algunos de los componentes como multiplexores, potenciómetros digitales o conversores de señales se han conseguido mediante muestras gratuitas, no obstante se ha incluido el precio para la estimación de la fabricación total del sistema. En las tablas 6.1, 6.2, 6.3, 6.4 y 6.5 se muestran los gastos de los componentes asociados a cada placa.

PLACA BASE			
COMPONENTE	PRECIO UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO TOTAL
Condensadores valores varios	0,10	17	1,70
Resistencias valores varios	0,05	16	0,80
Diodo 1N4007	0,058	1	0,06
Diodo LED rojo	0,093	1	0,09
Diodo Schottky 1N5822	0,13	2	0,26
Fusible 1A	0,59	1	0,59
Portafusible	0,27	1	0,27
Conector alimentación	1,34	1	1,34
Conector macho recto 34 pines	0,20	1	0,20
Conector macho recto 10 pines	0,12	1	0,12
Conector hembra recto 64 pines	1,56	4	6,24
Choque toroidal 330uH	1,55	1	1,55
Choque toroidal 470uH	1,64	1	1,64
Array de resistencias SOIC 1k	0,58	9	5,22
Array de resistencias SIP 2k2	0,41	4	1,64
Conversor DC-DC ptn78000a	10,98	1	10,98
Expansor puertos I2C PCA9555	1,53	1	1,54
I2C Hub PCA9516	1,21	1	1,21
Optoacoplador CNY74-4H	0,998	10	9,98
Optoacoplador CNY74-2H	0,68	2	1,36
Aislador digital ADuM1400	4,68	1	4,68
Aislador digital ADuM1401	4,68	1	4,68
Aislador dual I2C ADuM1250	5,19	1	5,19
Conector hembra 34 vías	0,67	2	58,36
Conector hembra 10 vías	0,19	2	1,34
Cable plano 34 vías	1,50	1	0,38
Cable plano 10 vías	0,54	1	1,50
SUB-20	58,36	1	0,54

<b>TOTAL =</b>	<b>123,46 €</b>
----------------	-----------------

**Tabla 6.1: Coste componentes Placa Base**

PLACA FUENTE DE ALIMENTACIÓN			
COMPONENTE	PRECIO UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO TOTAL
Condensadores valores varios	0,10	18	1,80
Referencia de tensión 2,5V LT1009	0,84	1	0,84
Diodo LED rojo	0,09	1	0,09
Conector banana rojo	1,54	2	3,08
Conector banana negro	1,54	1	1,54
Conector macho acodado 64 pines	1,86	1	1,86
Transistor NPN BC547C	0,08	1	0,08
Relé G6E-SPDT	3,67	1	3,67
Resistencias valores varios	0,05	21	1,05
Conversor DAC MCP4728	1,87	1	1,87
Amplificador OPA547T	6,77	4	27,08
Amplificador dual TL072	0,53	2	1,06
Comparador LM311	0,30	3	0,60

<b>TOTAL =</b>	<b>44,62 €</b>
----------------	----------------

**Tabla 6.2: Coste componentes Fuente de Alimentación**

PLACA MULTIMETRO			
COMPONENTE	PRECIO UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO TOTAL
Condensadores valores varios	0,1	19	1,9
Diodo zener 5v1	0,014	3	0,042
Diodo LED rojo	0,093	1	0,093
Fusible rearmable 600mA	0,51	1	0,51
Conector banana rojo	1,54	2	3,08
Conector banana negro	1,54	1	1,54
Conector macho acodado 64 pines	1,86	1	1,86
Relé G6E-DPDT	1,1	1	1,1
Relé G6E-SPDT	3,67	3	11,01
Transistor NPN BC547C	0,08	4	0,32
Resistencias valores varios	0,05	42	2,1
Amplificador Cuádruple TL074	0,33	2	0,66
Amplificador Instrumentación INA217	5,85	1	5,85
Potenciómetro digital 10k AD5290	5,15	1	5,15
Comparador LM311	0,3	1	0,3
Conversor RMS-to-DC AD536A	17,87	1	17,87
Conversor DAC MCP4728	1,87	1	1,87
Conversor ADC ADC122S625	5,12	1	5,12

<b>TOTAL =</b>	<b>60,38 €</b>
----------------	----------------

**Tabla 6.3: Coste componentes Multímetro**

PLACA GENERADOR DE FUNCIONES			
COMPONENTE	PRECIO UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO TOTAL
Condesadores valores varios	0,1	30	3
Referencia de tensión 2,5V LT1009	0,842	2	0,842
Diodo LED rojo	0,093	1	0,093
Conector BNC acodado	0,96	1	0,96
Conector macho acodado 64 pines	1,86	1	1,86
Relé G6B-NO-SPST	4,19	1	4,19
Relé G6E-SPDT	3,67	1	3,67
Transistor NPN BC547C	0,08	2	0,16
Resistencias valores varios	0,05	40	2
Generador de funciones XR2206	3,38	1	3,38
Multiplexor Analógico ADG1408	7,37	1	7,37
Potenciómetro digital 10k AD5254	4,68	1	4,68
Amplificador Cuádruple TL074	0,33	3	0,99
Conversor DAC MCP4728	1,87	1	1,87
Regulador lineal variable KA317	0,49	1	0,49
Regulador lineal variable KA337	0,63	1	0,63
Amplificador OPA547T	6,77	1	6,77

<b>TOTAL =</b>	<b>42,96 €</b>
----------------	----------------

**Tabla 6.4: Coste componentes Generador de Funciones**

PLACA OSCILOSCOPIO			
COMPONENTE	PRECIO UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO TOTAL
11	0,1	26	2,6
Diodo zener 5v1	0,014	2	0,028
Diodo LED rojo	0,093	1	0,093
Conector BNC acodado	0,96	2	1,92
Conector macho acodado 64 pines	1,86	1	1,86
Resistencias valores varios	0,05	35	1,75
Amplificador Instrumentación INA217	5,85	2	11,7
Amplificador Cuádruple TL074	0,33	1	0,33
Potenciómetro digital 10k AD5290	5,15	2	10,3
Conversor ADC ADS7882	7,24	2	14,48
Memoria FIFO SN74V245-7PAG	9,17	2	18,34
Regulador lineal 3,3V LM1117	1,75	1	1,75

<b>TOTAL =</b>	<b>65,15 €</b>
----------------	----------------

**Tabla 6. 5: Coste componentes Osciloscopio**

Según el colegio Oficial de Ingenieros Técnicos de Telecomunicación, el precio estimado de la hora de ingeniería de un libre ejerciente es de 26,14€. En cuanto a la realización del documento se ha estimado un coste de 13,25€. La tabla 6.6 muestra la descripción de horas y coste.

CONCEPTO	HORAS	COSTE/HORA	TOTAL
Especificación del proyecto y búsqueda de soluciones	40	26,14 €	1.045,60 €
Diseño e implementación hardware	200	26,14 €	5.228,00 €
Diseño e implementación software	80	26,14 €	2.091,20 €
Integración y pruebas	120	26,14 €	3.136,80 €
Documentación	60	13,25 €	795,00 €

<b>TOTAL =</b>	<b>12.296,60 €</b>
----------------	--------------------

**Tabla 6.6: Coste ingeniería**

La tabla 6.7 muestra el coste total de todo el proyecto

CONCEPTO	COSTE
Total Componentes	366,60 €
Fabricación prototipo (placas)	73,57 €
Total Ingeniería	12.296,60 €

<b>TOTAL =</b>	<b>12.736,77 €</b>
----------------	--------------------

**Tabla 6.7: Coste total**

## 7. CONCLUSIONES Y MEJORAS

---



## 7.1. Conclusiones

Se ha desarrollado un sistema hardware que, junto con la aplicación software de control, implementa el equipamiento de un puesto de laboratorio útil para alumnos y aficionados a la electrónica con el que se pueden probar y testear circuitos electrónicos. Los objetivos propuestos al inicio se han conseguido incluso superándose en algunos aspectos, como en las funcionalidades de la aplicación de control.

Esta aplicación software de control tiene un interfaz gráfico que recrea el aspecto real de los instrumentos que se pueden encontrar en un puesto de laboratorio, lo que hace que la aplicación sea fácil de utilizar para cualquier persona que esté familiarizado con los equipos de un laboratorio real.

El hardware desarrollado proporciona al usuario la unión en un mismo sistema de las opciones y funciones principales de los instrumentos implementados en este proyecto.

Éste ha sido un proyecto que me ha aportado nuevos conocimientos de electrónica analógica y programación en LabVIEW. Además me ha permitido la posibilidad de realizar un sistema hardware-software de bastante complejidad que pueda ser utilizado en un futuro por cualquier persona que no pueda acceder a un laboratorio o no pueda permitirse comprar los equipos.

## 7.2. Mejoras

Además de todas las opciones y posibilidades que ofrece el sistema desarrollado se pueden añadir nuevas funcionalidades.

### 7.2.1 Medidas de condensadores

Una de las opciones que tienen muchos multímetros es la de medida de capacidad de condensadores. Para llevar a cabo esta medida de forma sencilla, el

método propuesto es medir la tensión que alcanza el condensador cuando se carga a una corriente constante durante un tiempo determinado.

La tensión del condensador y su capacidad están relacionadas por la siguiente expresión:

$$V = \frac{I \times t}{C}$$

La corriente depende de una fuente de corriente controlada por un conversor digital-analógico de tensión de referencia 5 voltios (Ver **Capítulo 3.5 – Diseño Hardware, Módulo Multímetro**). Controlando el tiempo de carga y la corriente suministrada, y averiguando la tensión se puede saber el valor del condensador.

### 7.2.2 Salida de calibración en el osciloscopio

Los osciloscopios tienen una salida cuadrada de 0 a 5 voltios y 1kHz que se utiliza para calibrar las sondas de cada canal. Esta señal se puede obtener de la misma manera que se configura una señal cuadrada en el módulo generador de funciones (Ver **Capítulo 3.4 – Diseño Hardware, Módulo Generador de Funciones**) pero debido a que es una señal fija que no necesita configuración por parte del usuario, la solución propuesta es más sencilla.

Para conseguir esta señal de calibración se puede hacer uso con el integrado NE555 con la configuración de la Figura 7.1.

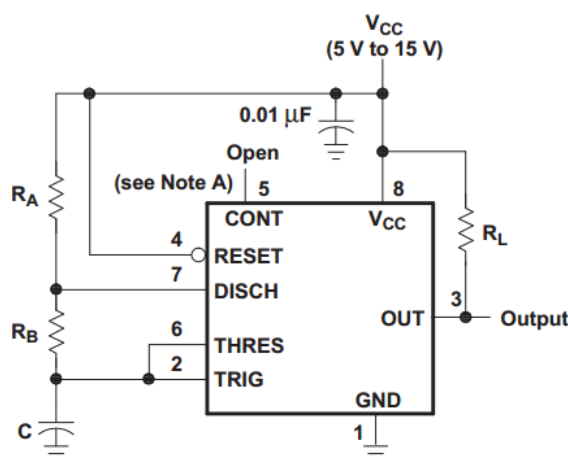


Figura 7.1: Configuración *tímer* NE555



La duración del nivel alto  $t_H$  y del nivel bajo  $t_L$  puede ser calculados mediante las siguientes expresiones:

$$t_H = 0.693 (R_A + 2R_B)C$$

$$t_H = 0.693 R_B C$$

Con estas ecuaciones los valores elegidos serían:

- C: 100nF
- $R_A$ : 28,86k $\Omega$   $\rightarrow$  28,7k $\Omega$
- $R_B$ : 7,215k $\Omega$   $\rightarrow$  Potenciómetro de 10k $\Omega$

### 7.2.3 Salida de hasta 6V en la fuente de alimentación

Las fuentes de alimentación, además de dos salidas configurables, tienen una salida más aparte. Esta salida extra puede ser fija de 5 voltios y que pueda suministrar una corriente alta o puede ser variable hasta un cierto valor, por ejemplo 6 voltios.

Debido a las limitaciones de este sistema en cuanto a consumo se refiere (no puede consumir más de 2,5A por el tipo de alimentación), la opción de la mejora sería añadir una salida de tensión variable hasta 6 voltios. La manera de hacer posible esta salida sería de la misma manera que con las otras salidas ya expuestas en el **Capítulo 3.12 Diseño Hardware, Fuente de Alimentación**.

### 7.2.4 Intercambio de las placas de los equipos

Las placas de los equipos son independientes entre sí, y si una se rompe se puede intercambiar con otra mientras se repara. El problema es que, aun siendo placas que se pueden extraer de la placa base, siempre tienen que estar colocadas en el mismo conector. Haciendo todos los conectores iguales daría la posibilidad de poder colocar cualquiera de las placas de los equipos en cualquier posición.

Esto provocaría que hubiera líneas en los conectores que estarían en desuso según el módulo colocado. También en cada placa de los equipos se tendría que colocar líneas de identificación para que la aplicación supiera que instrumento está colocado en cada conector o, si por el contrario, en un conector no hay ninguna placa.

### **7.2.5 Diferentes paneles frontales**

Existen muchos modelos de cada uno de los equipos. En este proyecto se han escogido paneles frontales que se asemejen a algún modelo de los utilizados en los laboratorios presenciales. Una opción sería dar la posibilidad de escoger entre distintos paneles frontales. Así, el usuario de la aplicación podría seleccionar el panel frontal del equipo que más conozca o que más haya utilizado en el laboratorio.

Lo único que cambiaría sería la apariencia porque al estar todo el sistema soportado por el mismo hardware las opciones y la funcionalidad serían las mismas.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

---



## 8.1. Documentos

**[1] Desarrollo de una aplicación hardware-software para la realización de prácticas con circuitos electrónicos.**

Álvaro García Tapia. PFC. Universidad Politécnica de Madrid. Enero 2006.

**[2] Desarrollo teórico de una tarjeta de adquisición de datos para prácticas docentes.**

Mario Fernández Pérez. PFC. Universidad Politécnica de Madrid. Noviembre 2008.

**[3] Desarrollo de un sistema hardware programable para configurar circuitos básicos.**

Javier Muñoz García. PFC. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, Marzo 2011.

**[4] Diseño con amplificadores operacionales y circuitos integrados analógicos.**

Sergio Franco. Ed: Mc. Graw Hill. 3ª Edición – 2006

**[5] Electrónica.**

Allan R. Hambley Ed: Prentice Hall 2ª Edición – 2001

**[6] Operational amplifiers & linear integrated circuits**

Robert F. Coughlin, Frederick F. Driscoll Ed: Prentice Hall 1993

**[7] LabVIEW Intermediate I y II**

National Instruments 2003

## 8.2. Enlaces Web

Web fabricante XDIMAX. Concepto: Tarjeta multi-interface.

<http://www.xdimax.com/sub20/sub20.html>

Web fabricante National Instruments. Concepto: LabVIEW, myDAQ.

<http://www.ni.com/>

Web eanh.com. Concepto: Generador de funciones.

<http://www.ea4nh.com/articulos/gefun/gefun.htm>

Web fabricante Analog Devices. Concepto: Componentes.

<http://www.analog.com/en/index.html>

Web fabricante Texas Instruments. Concepto: Componentes.

<http://www.ti.com/>

# ANEXO I DISEÑOS ORCAD CAPTURE

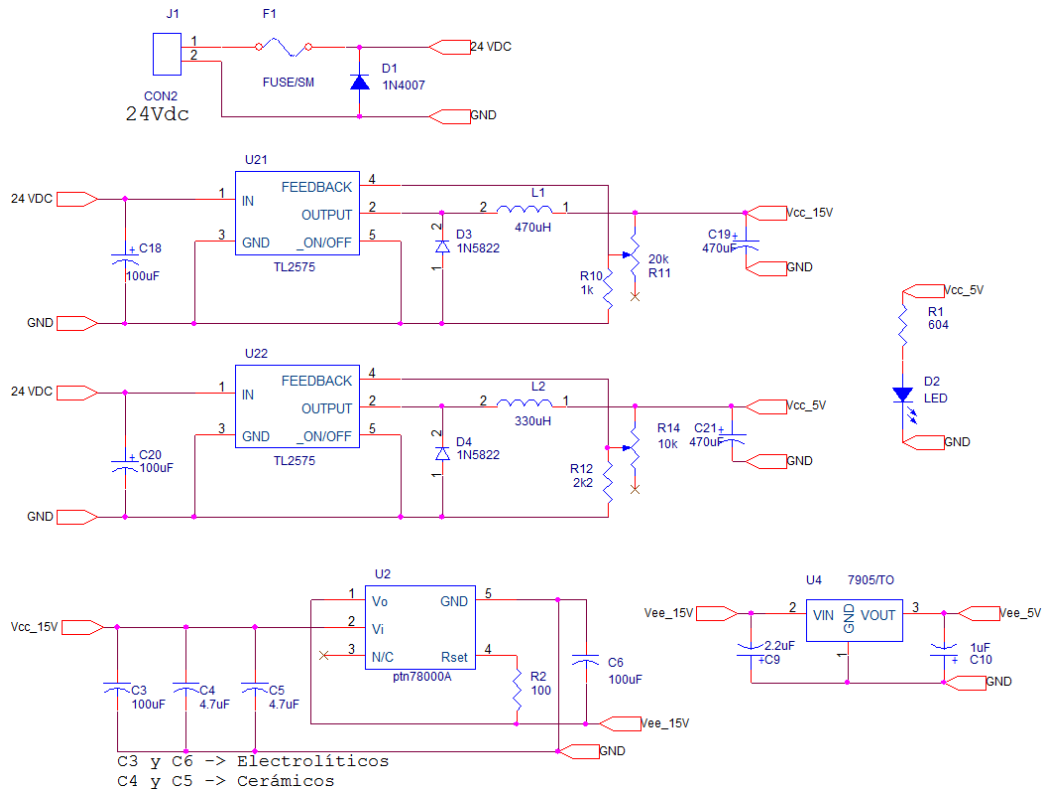
---



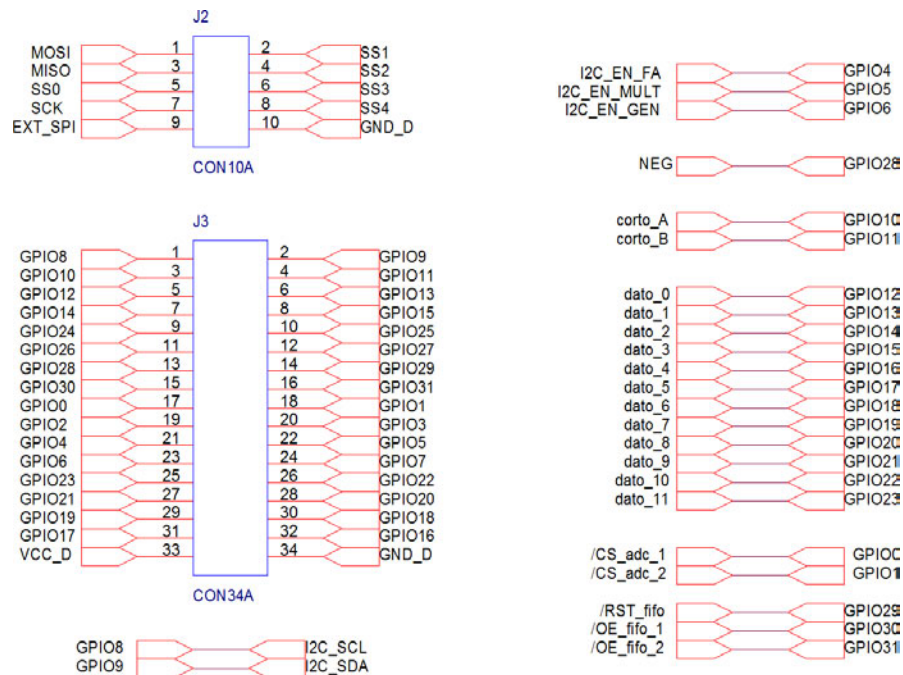


## PLACA BASE:

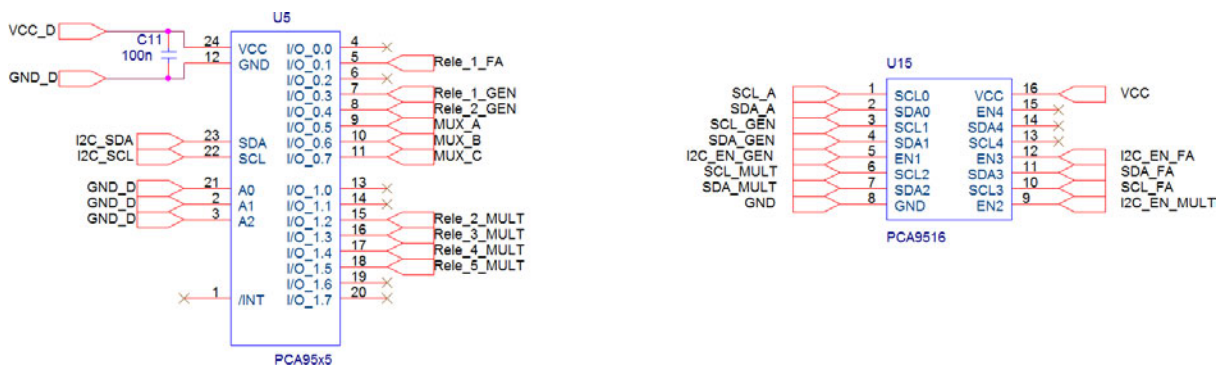
### Bloque de alimentación:



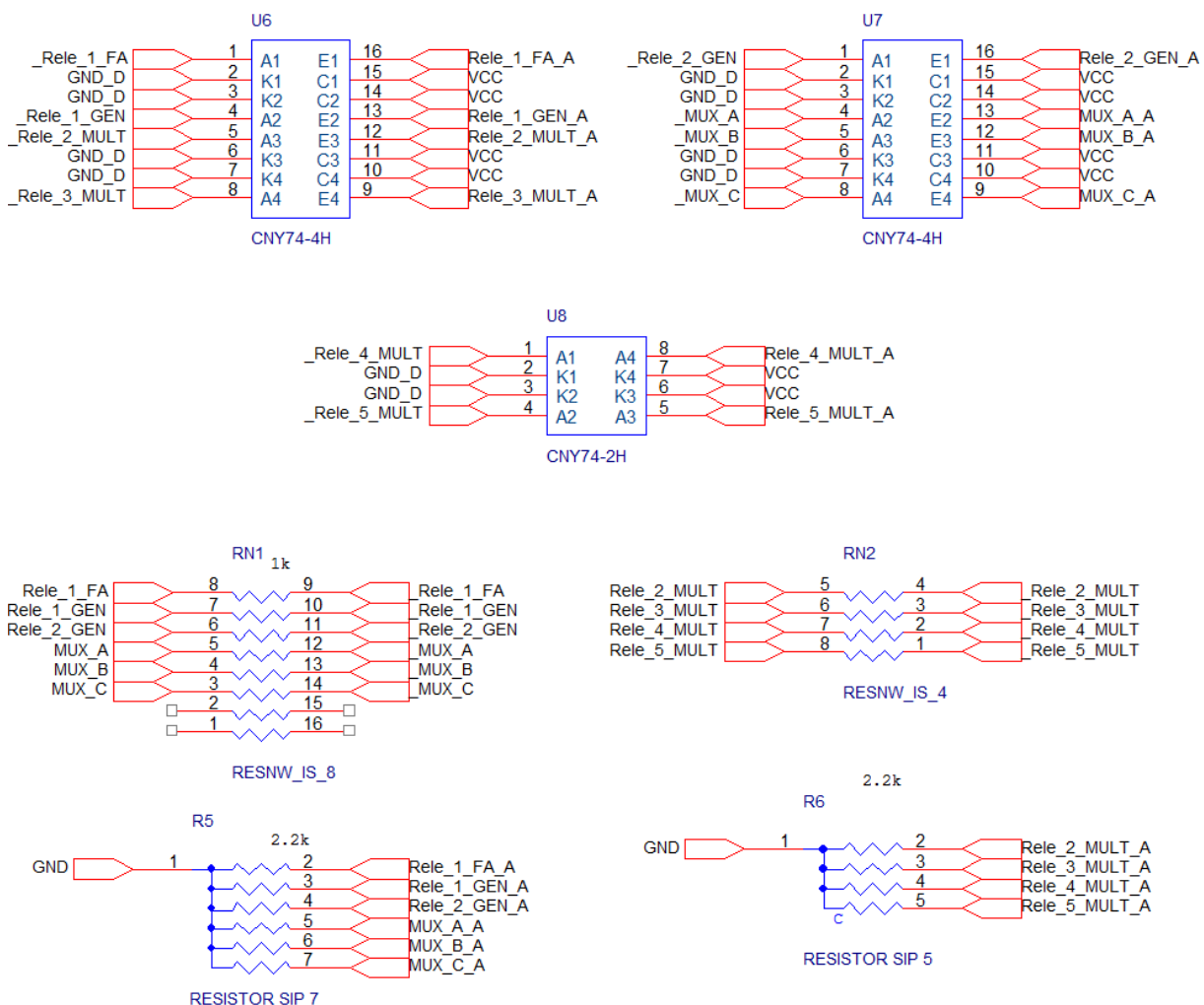
### Bloque comunicaciones:



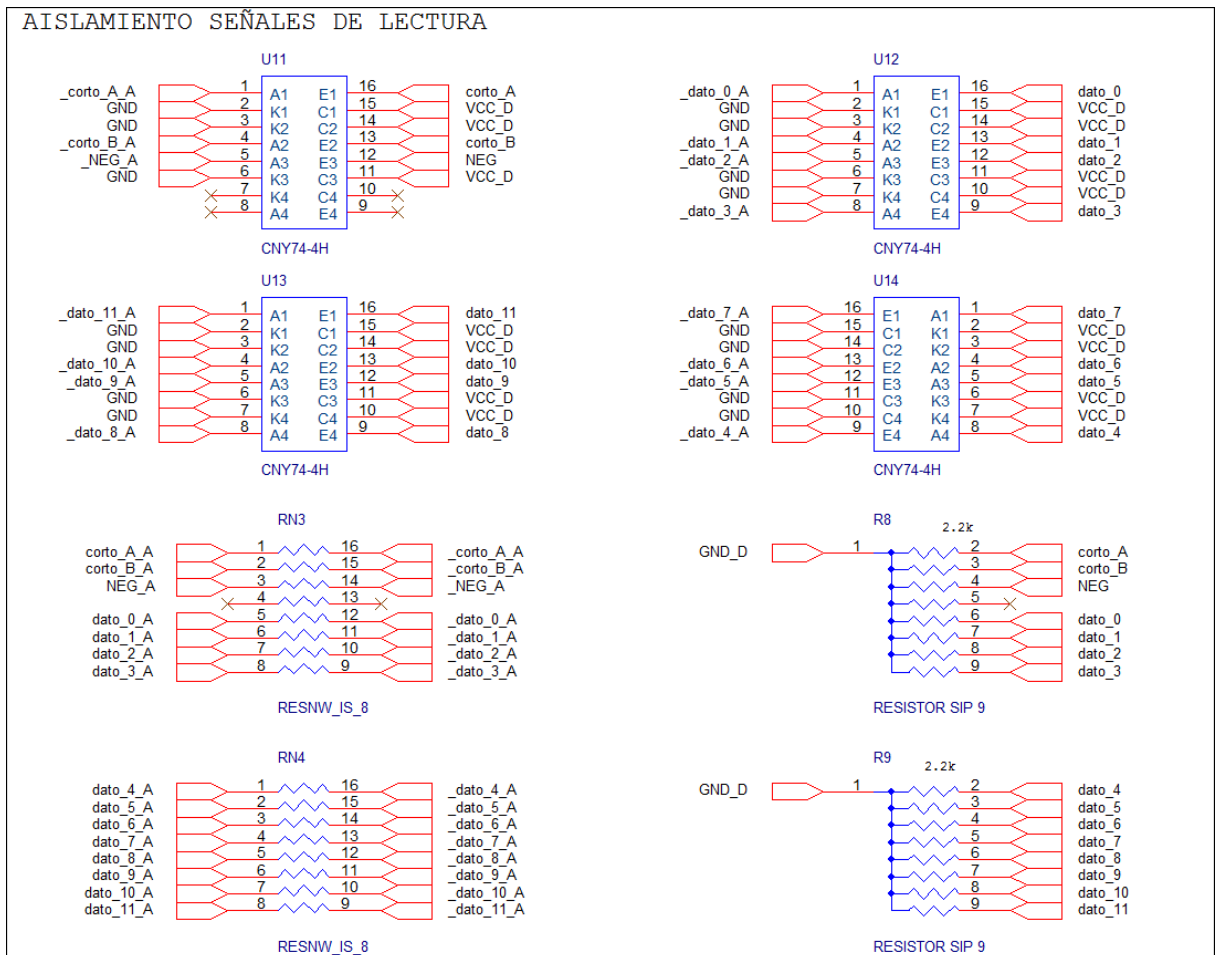
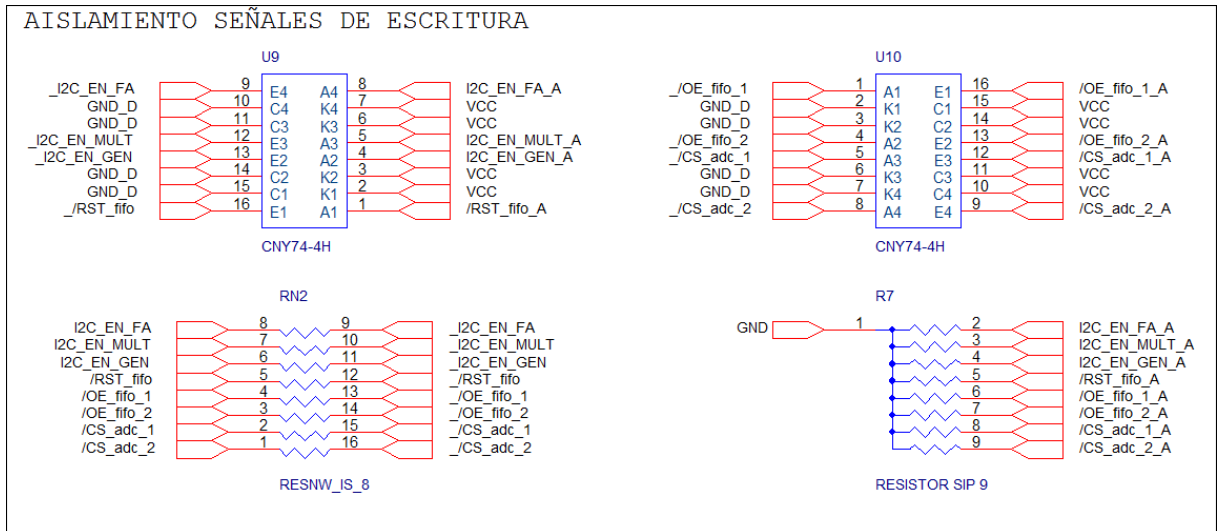
## Bloque expensor y selector I2C:



## Bloque aislador señales expensor:



## Bloque aislador señales GPIO:

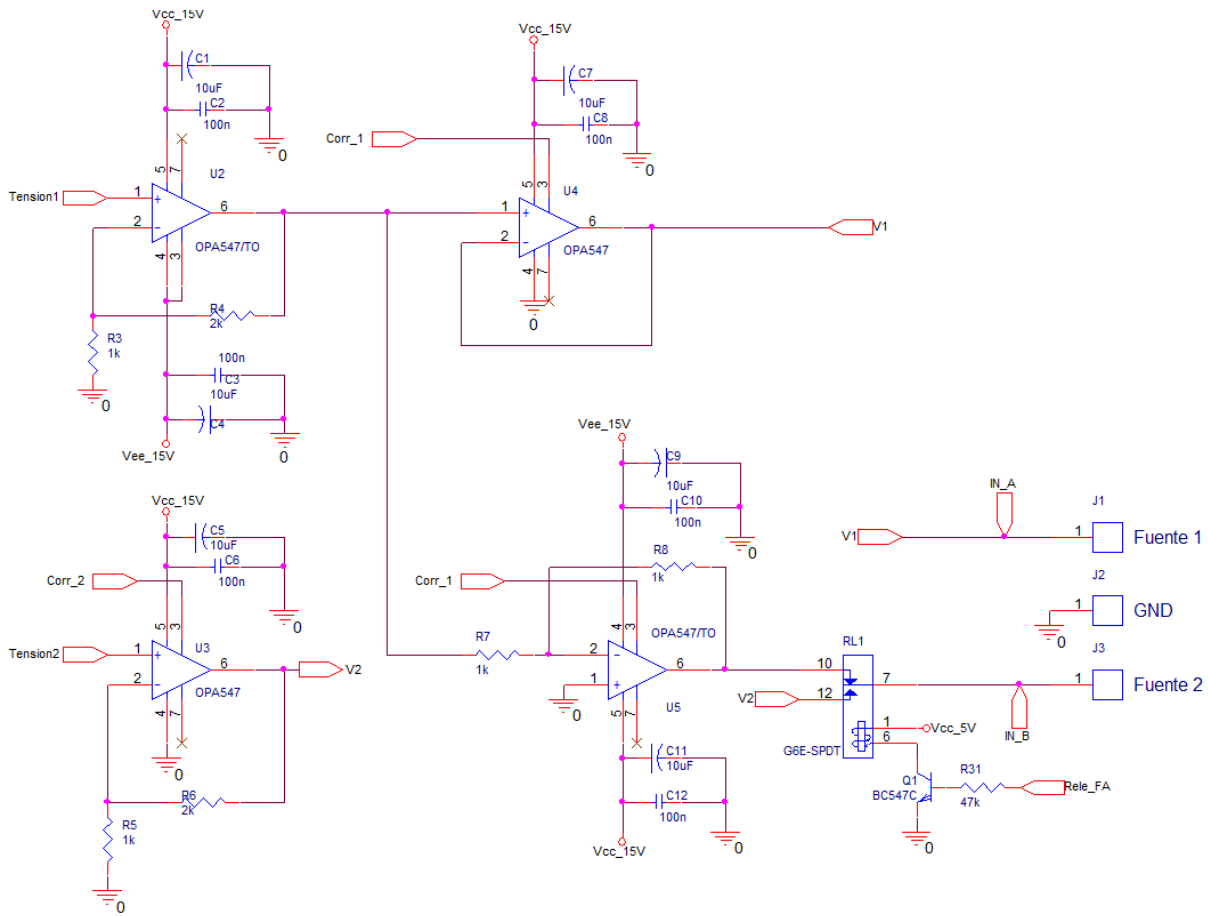




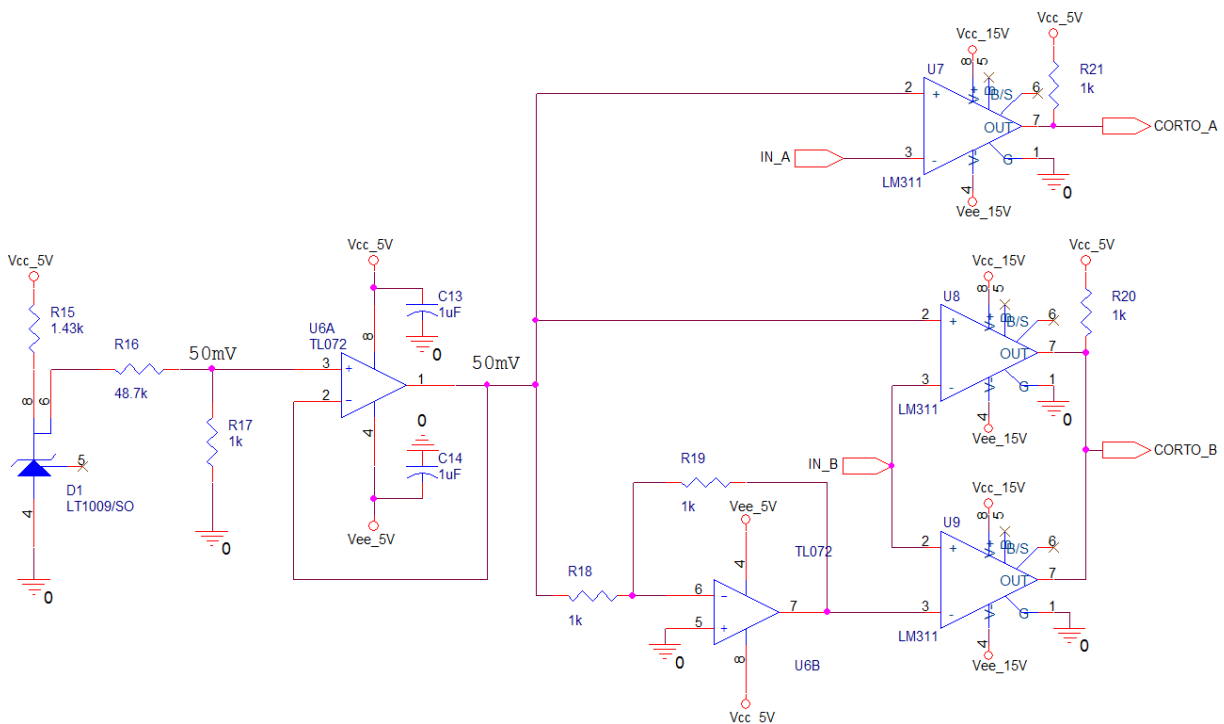


---

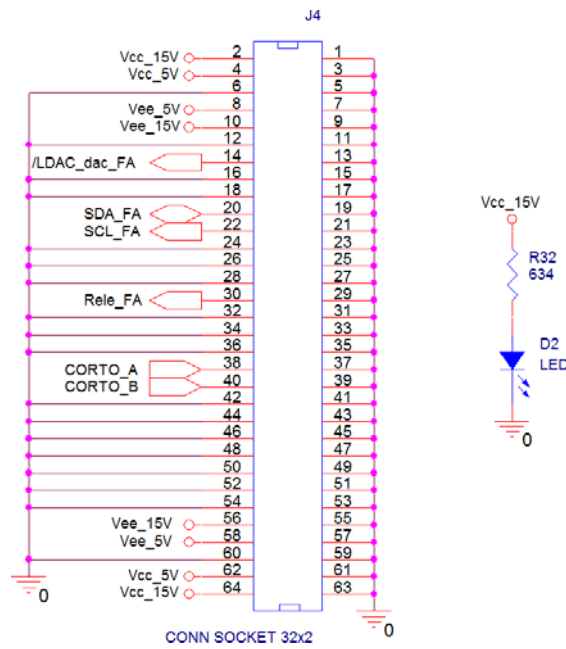
## Salidas de la fuente:



## Detector de cortocircuito:

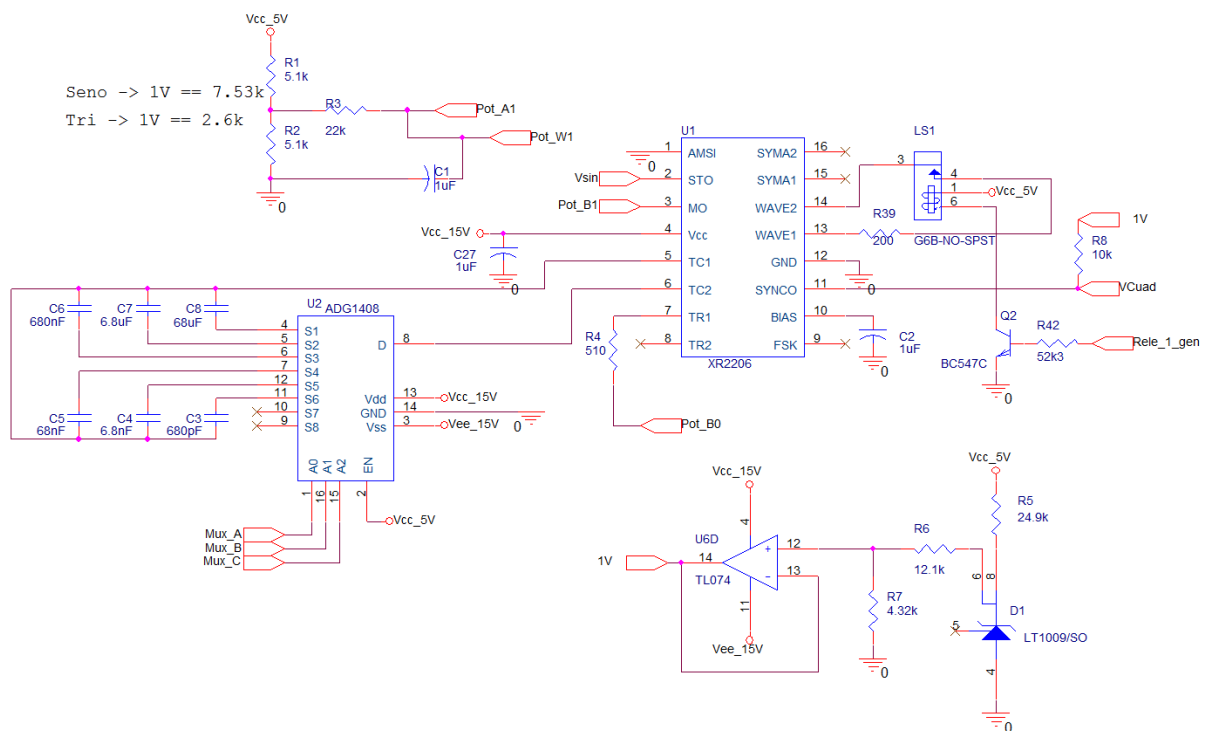


## Conector e indicador de alimentación:



## MÓDULO GENERADOR DE FUNCIONES:

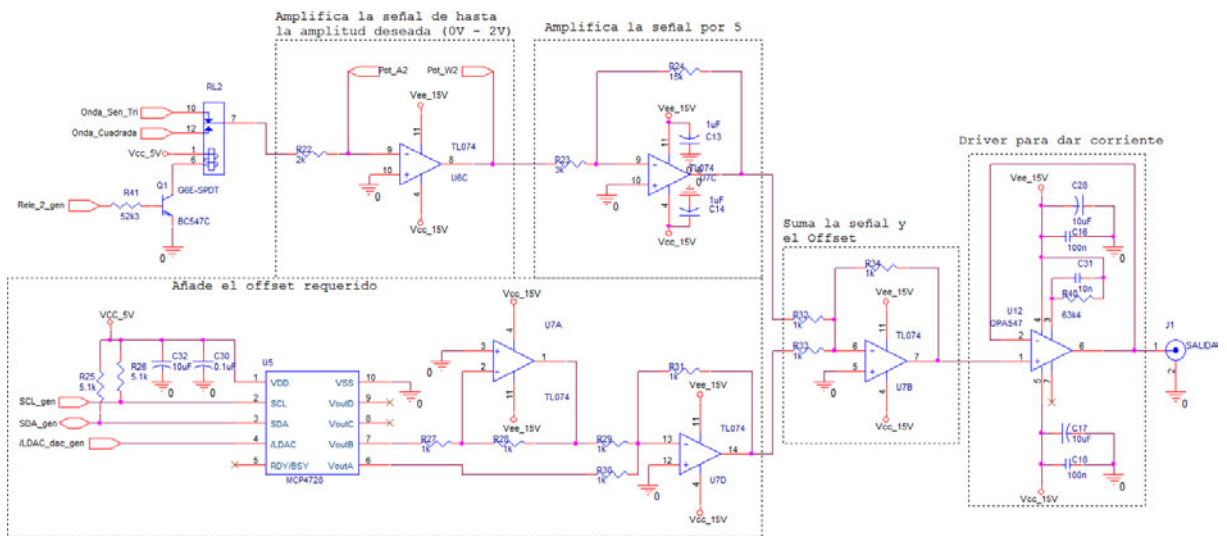
### Configuración de la señal:



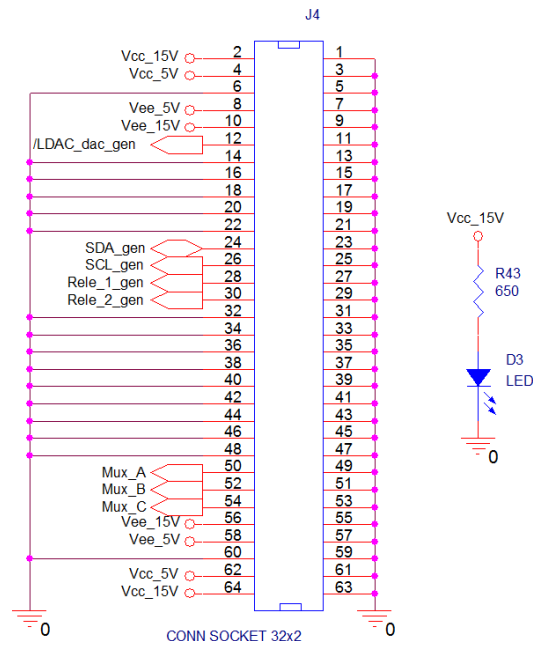




## Ganancia, offset y salida:

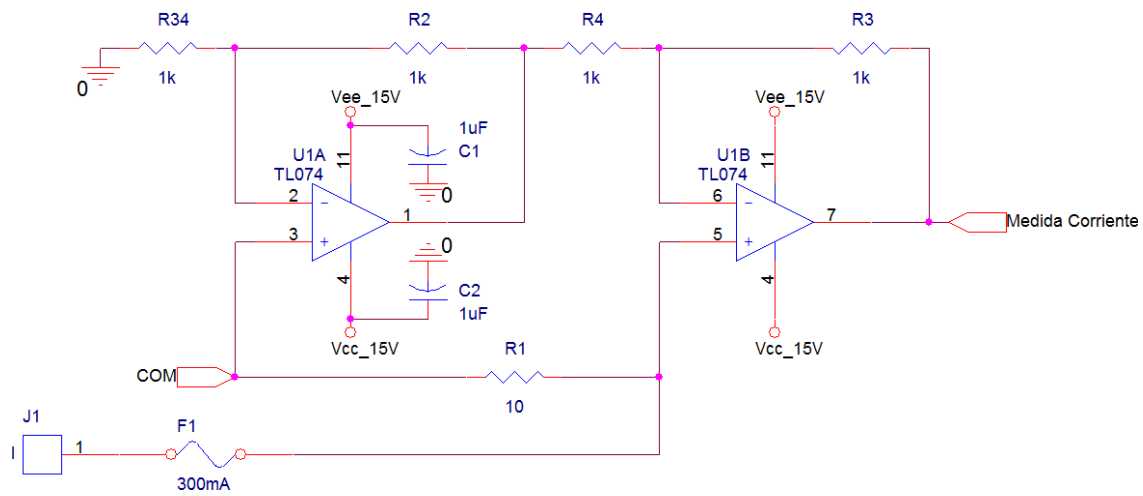


## Conector e indicador de alimentación:

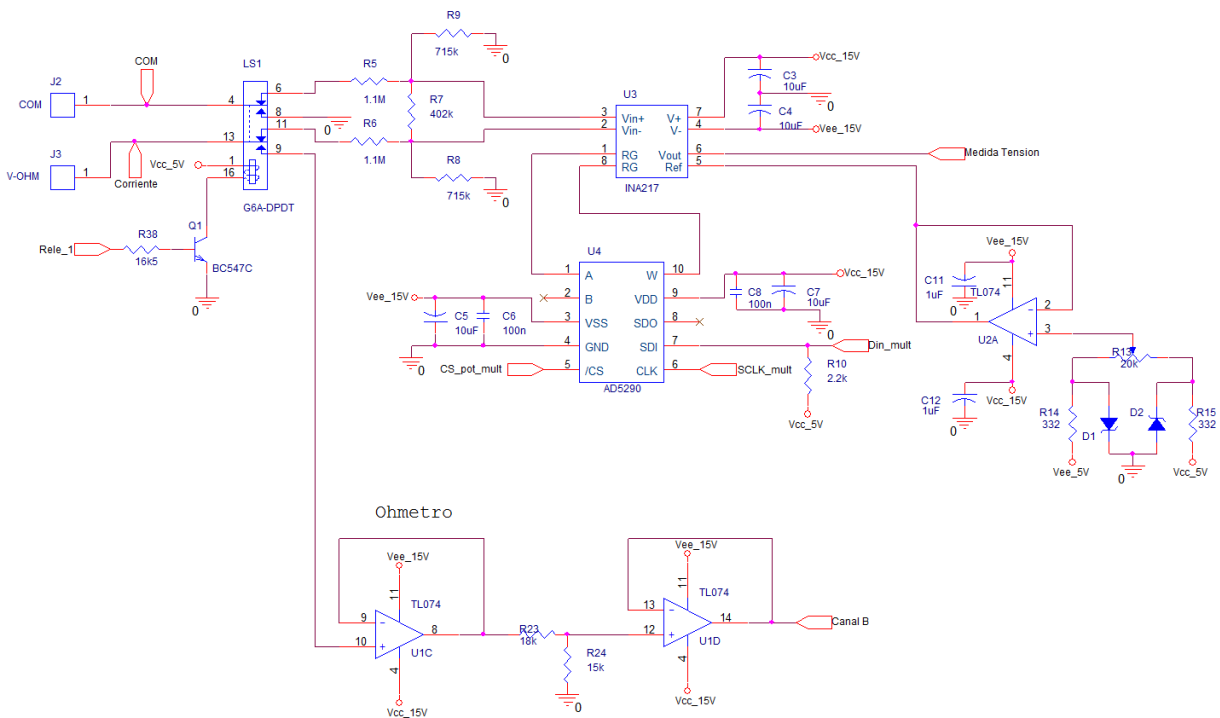


## MÓDULO MULTÍMETRO:

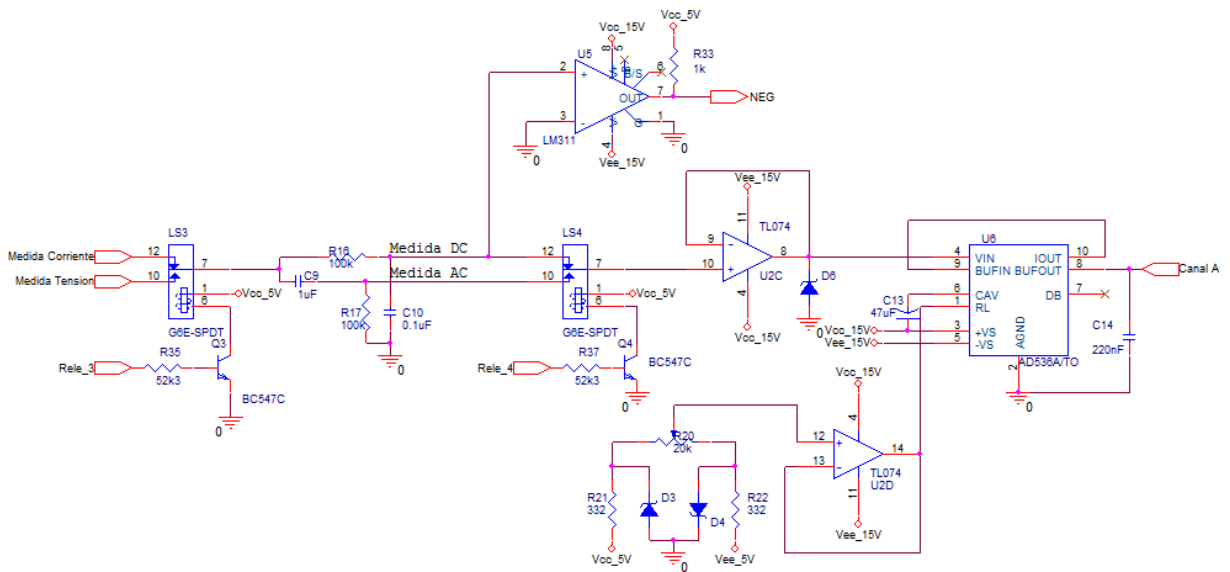
Entrada de corriente:



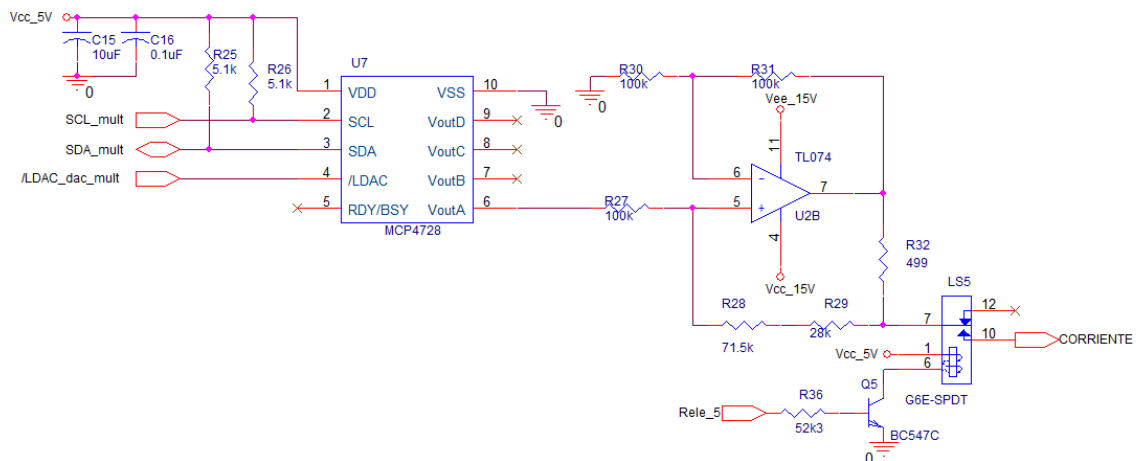
Entrada de Tensión-Resistencia:



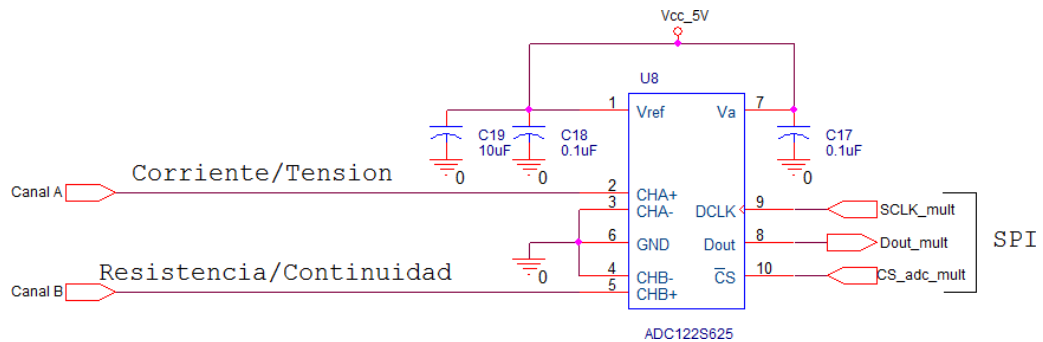
## Elección de tipo de medida y conversión RMS-to-DC:



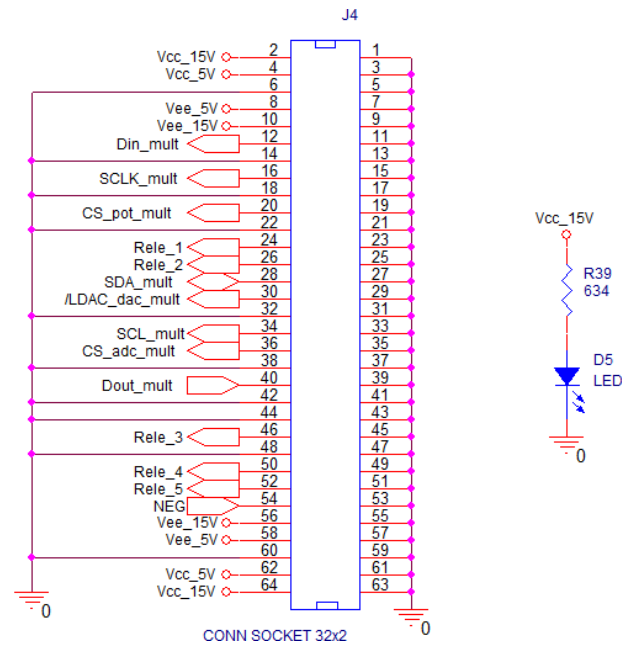
## Fuente de corriente Howland:



## Conversor analógico-digital:

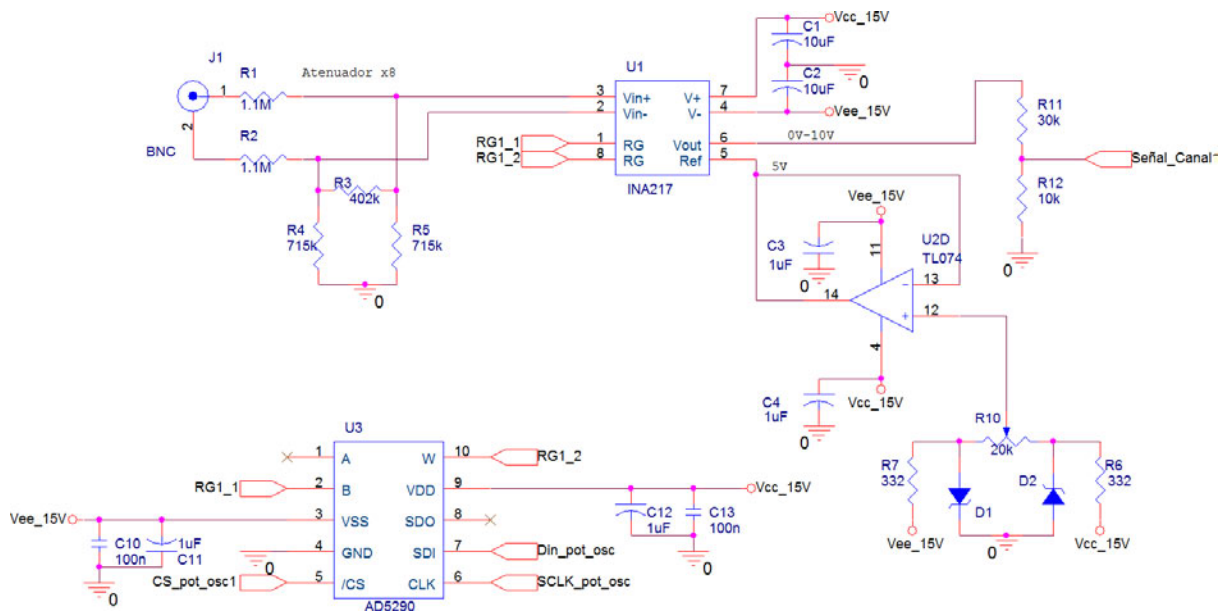


Conector e indicador de alimentación:

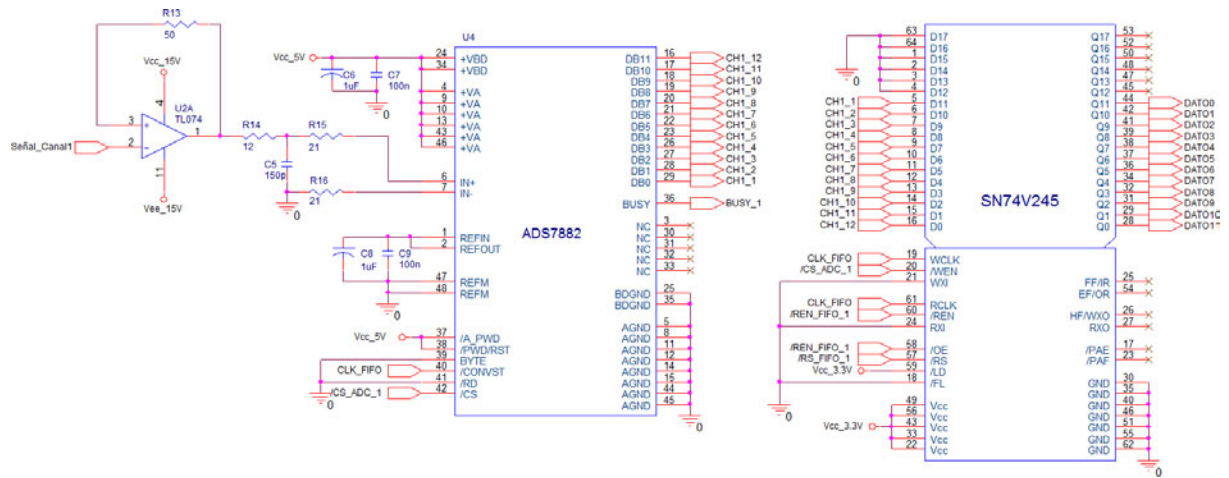


## MÓDULO OSCILOSCOPIO:

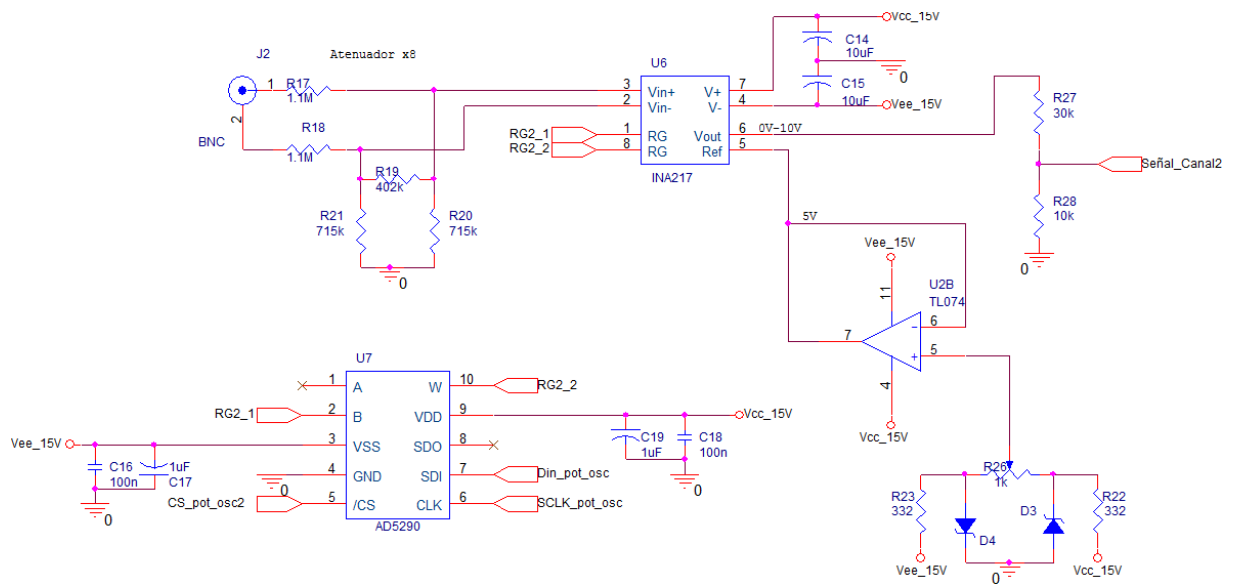
Entrada canal 1:



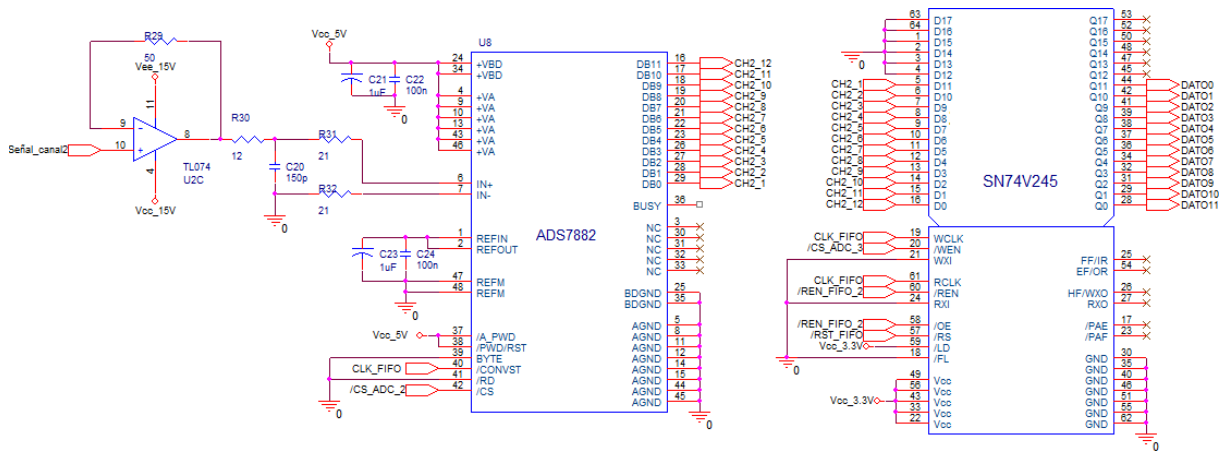
## Conversión y almacenamiento canal 1:



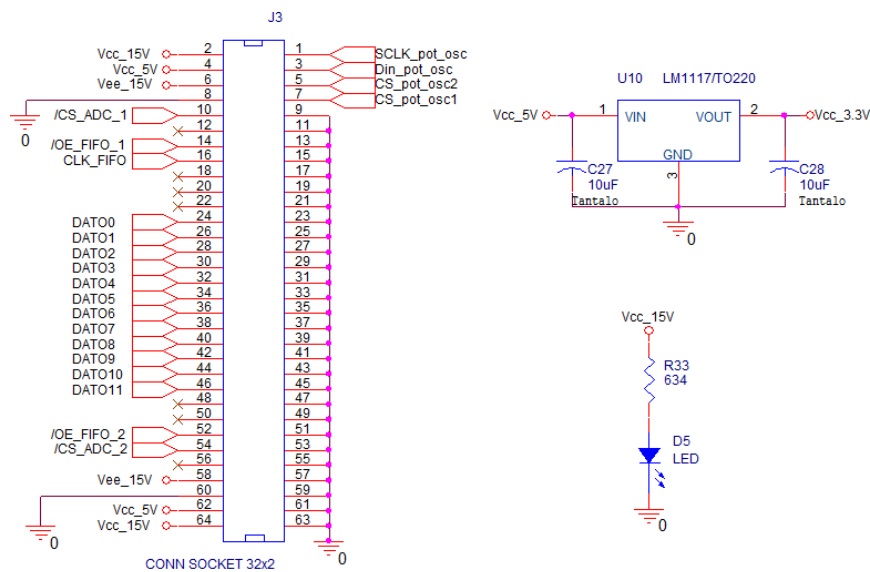
## Entrada canal 2:



## Conversión y almacenamiento canal 2:



## Conector, regulador e indicador de alimentación:



## **ANEXO II DISEÑOS ORCAD LAYOUT**

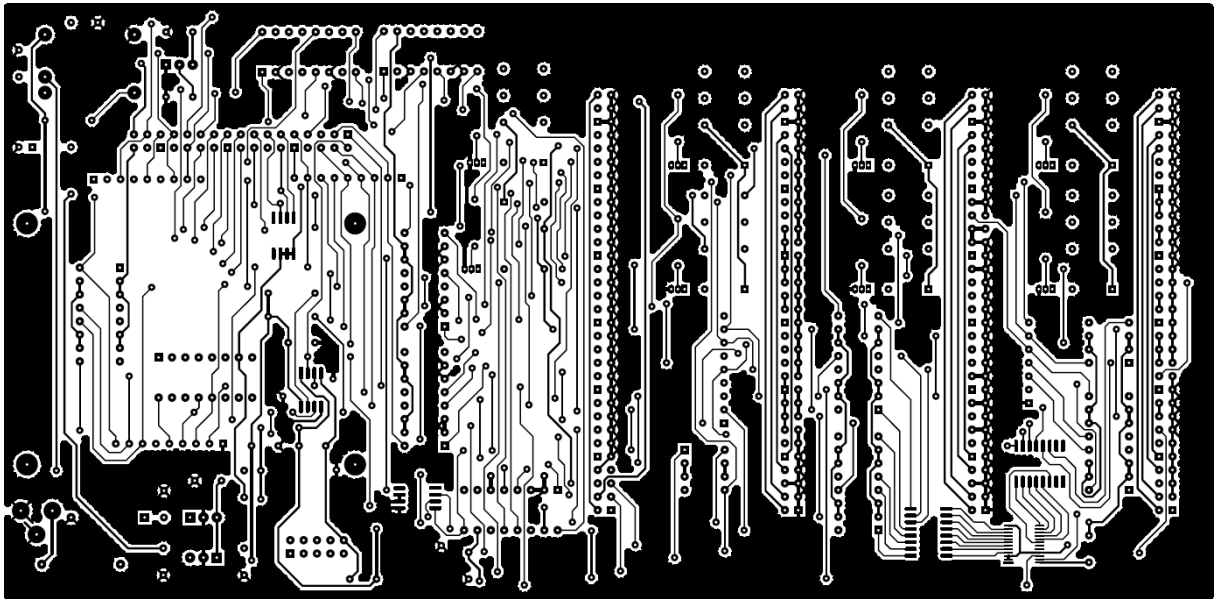
---



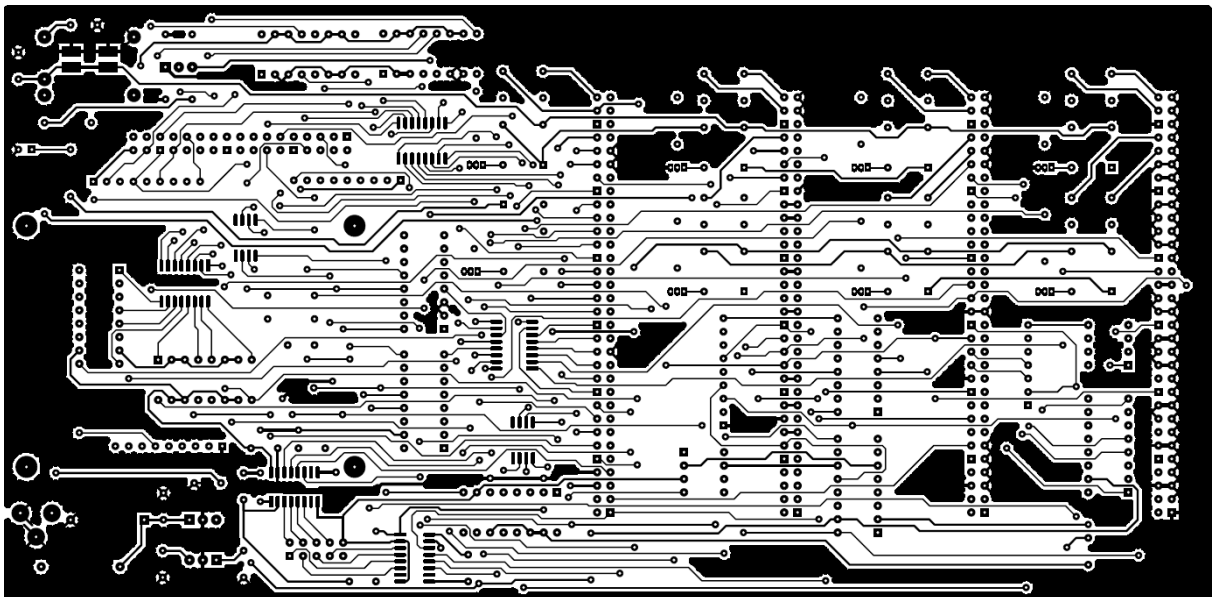


## **PLACA BASE:**

### *CAPA BOTTOM*

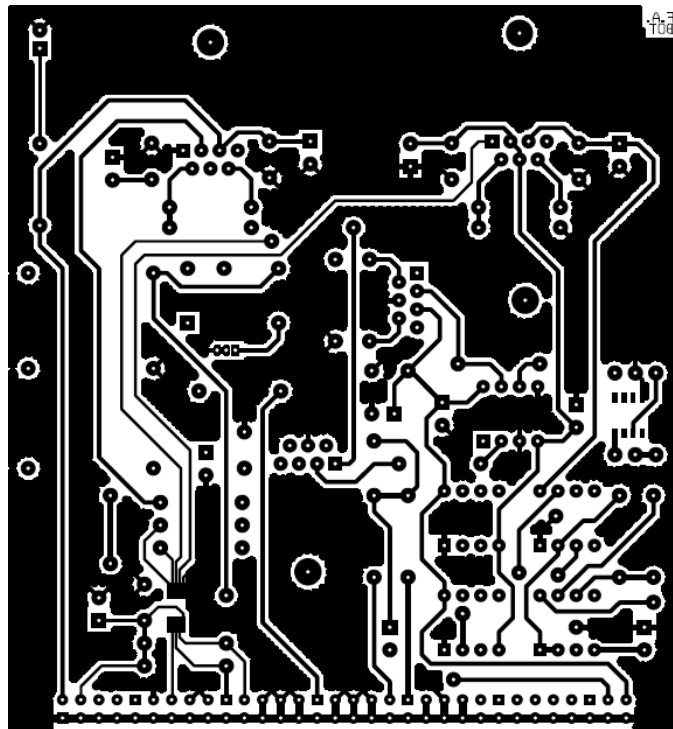


### *CAPA TOP*

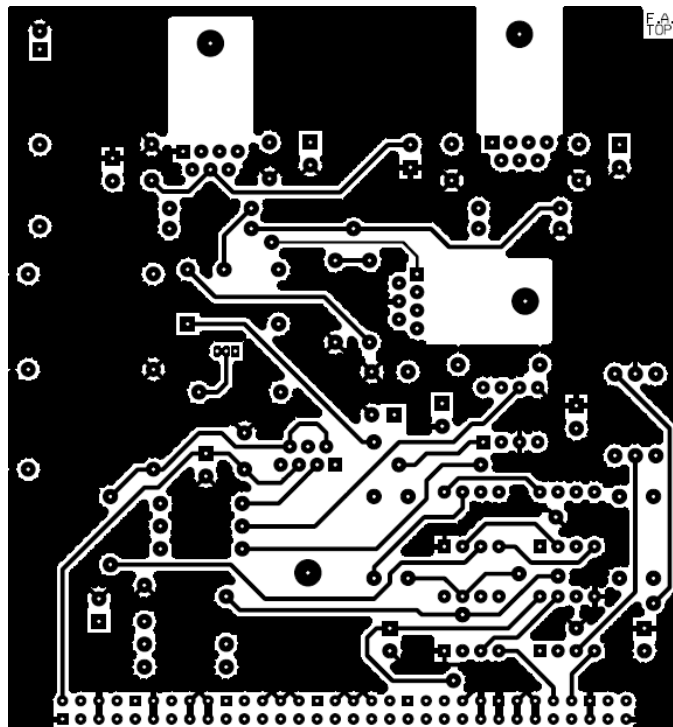


## **MÓDULO FUENTE DE ALIMENTACIÓN:**

*CAPA BOTTOM*

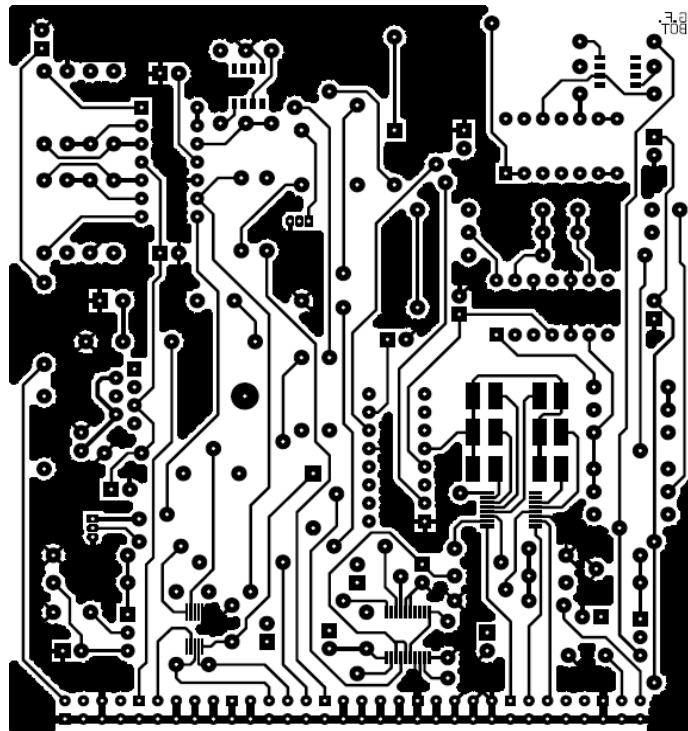


*CAPA TOP*

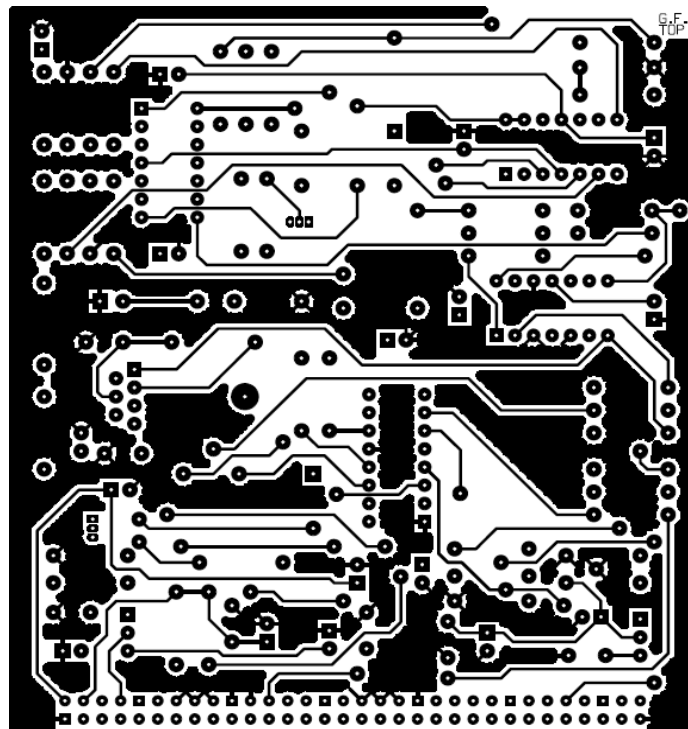


## **MÓDULO GENERADOR DE FUNCIONES**

### *CAPA BOTTOM*

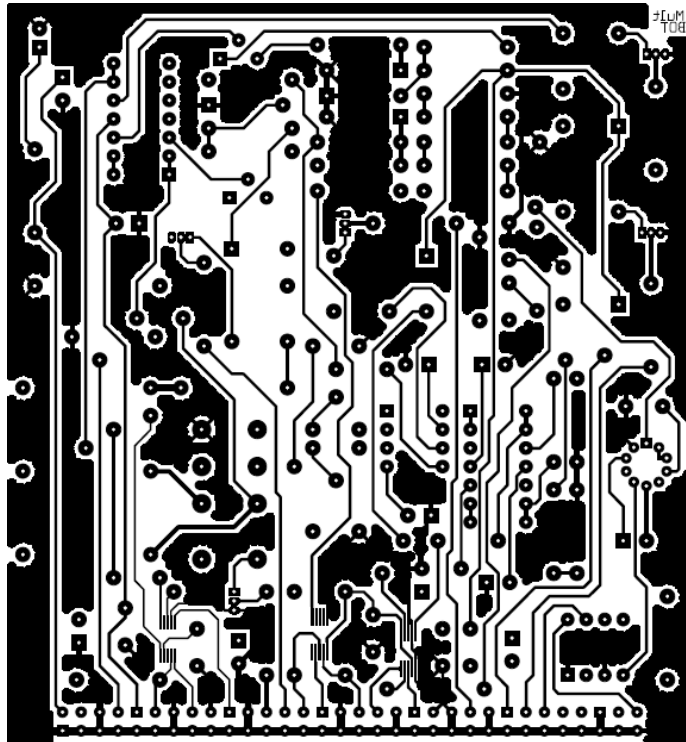


### *CAPA TOP*

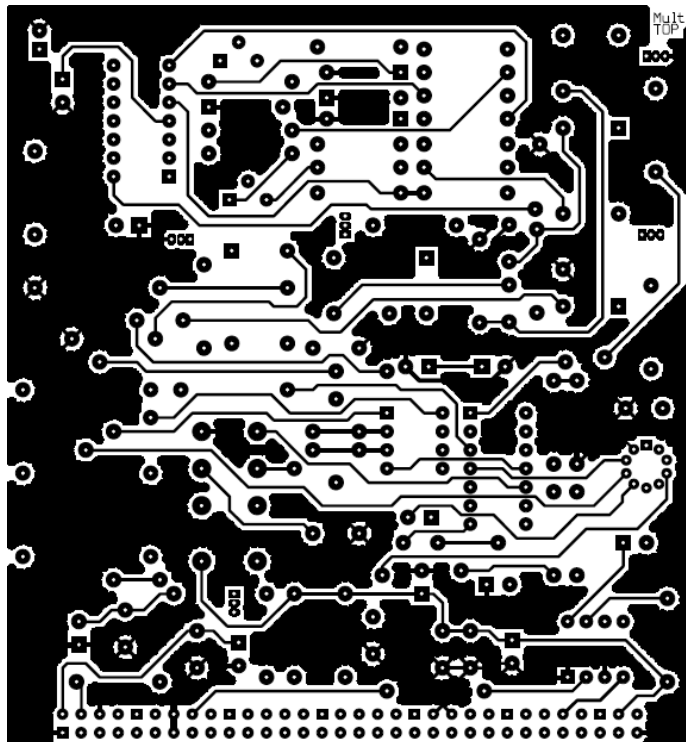


## **MÓDULO MULTÍMETRO**

### *CAPA BOTTOM*

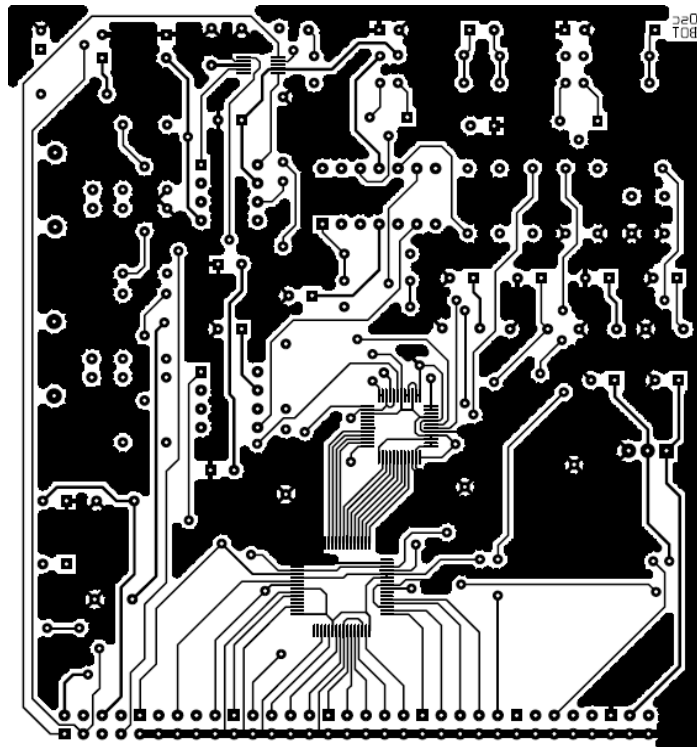


### *CAPA TOP*



## MÓDULO OSCILOSCOPIO

### *CAPA BOTTOM*



### *CAPA TOP*

